



Universidad Nacional de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente

**BALANCE DE LA SUBCUENCA CENTRAL DEL ACUIFERO DE
MANAGUA UTILIZANDO SOFTWARE FLOWPATH II**

TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACION DEL CIEMA PARA OPTAR AL
TITULO DE MAESTRO EN INGENERIA AMBIENTAL

TESISTA: Ing. Roger Martínez Poveda

TUTOR: Ing. (Msc) Reyna Hernández Calero

Managua, Nicaragua
2005

INDICE

PRELIMINARES

Dedicatoria y agradecimientos.....	i
Carta de solicitud.....	ii
Carta de aprobación.....	iii
Carta del tutor.....	iv
Resumen de tesis.....	v

Capítulo I INTRODUCCION

1.1 Localización y geología del área de estudio.....	1
1.1.1 Los límites del acuífero del área de Managua.....	2
1.1.2 Geología del área de Managua.....	3
1.1.2.1 Estratigrafía.....	3
1.1.2.2 Litología.....	4
1.1.2.2.1 Materiales volcánicos del pleistoceno Inferior.....	4
1.1.2.2.2 Materiales volcánicos del pleistoceno superior y del holoceno.....	5
1.2 Identificación y definición del estudio.....	11
1.3 Objetivos del estudio.....	13

Capítulo II METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 Preliminares.....	14
2.2 Definición del modelo conceptual.....	14
2.3 Elaboración del modelo definitivo.....	14
2.4 Calibración del modelo.....	15
2.5 Análisis de la información complementaria.....	16

Capítulo III ASPECTOS TEÓRICOS

3.1 Acuífero.....	17
3.2 Rocas que forman acuíferos.....	17
3.2.1 Depósitos sedimentarios no consolidados.....	17
3.3 Tipos de formaciones geológicas en el subsuelo.....	17
3.3.1 Acuíferos.....	17
3.3.1.1.Tipos de acuíferos.....	17
3.3.1.1.1.Confinados.....	18
3.3.1.1.2.Semiconfinado.....	18
3.3.1.1.3.Semi libre.....	18
3.3.1.1.4.Libres	19
3.3.1.1.5. Colgados.....	19
3.3.1.2.Funciones de un acuífero.....	20
3.3.1.2.1.Porosidad.....	21
3.3.1.2.2.Rendimiento Específico.....	21
3.3.1.2.3.Función Conducto.....	22
3.3.2.Acuitardos.....	23
3.3.3.Acuífugo.....	23
3.3.4.Acuícludo.....	23
3.4 .Ley de Darcy.....	24
3.5 Implementación numérica.....	29
3.5.1 Definición y dimensiones de un bloque típico.....	30
3.5.1.1 Definición de celda.....	30
3.5.1.2 Acuíferos no confinados.....	31
3.6 Consecuencias de sobre explotar las aguas subterráneas.....	32
3.6.1 Disminución y agotamiento de las capas freáticas.....	32

Capítulo IV MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE LA CUENCA

CENTRAL DE MANAGUA

4.1 Mapa hidrogeológico.....	35
4.1 Acuífero.....	36
4.2 Caudales de bombeo.....	38
4.3 Fronteras y factores externos.....	39
4.4 Recarga.....	40
4.5 Porosidad.....	42
4.6 Conductividad hidráulica.....	43

Capítulo V ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TOMADA EN CUENTA LA CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

5.1 Transmisibilidad (t) y conductividad hidráulica (k) de la Cuenca Central de Managua	44
5.2 Recarga.....	48
5.3 Extracción del acuífero.....	52
5.4 Porosidad.....	56
5.5 Cargas constantes consideradas en el modelo	58
5.5.1 Lago de Managua.....	58
5.5.2 Laguna de Asososca.....	61
5.5.3 Laguna de Tiscapa.....	63
5.5.4 Laguna de Nejapa.....	64
5.5.5 Resumen de las medidas de tendencia y dispersión de las cargas constantes.....	66
5.6 Basamento de acuífero.....	66
5.7 Manantiales y hundimientos de suelo.....	68
5.7.2 Área construida en viviendas en la cuenca central.....	68
5.7.3 Área ocupada por la red vial en la cuenca central.....	69

Capítulo VI RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DEL MODELO DE LA CUENCA CENTRAL DE MANAGUA

Resultados.....	71
Conclusiones.	80
Recomendaciones.....	84
Bibliografía.....	86

ANEXOS

Anexo 1: Valor de transmisibilidad en metros cuadrados por día.....	A – 01
Anexo 2: Propuesta de conductividad - Vulnerabilidad hidrogeológica.....	A – 02
Anexo 3: Mapa de distribución espacial de conductividad hidráulica.....	A – 03
Anexo 4: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.....	A – 04
Anexo 5: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.....	A – 05
Anexo 6: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.....	A – 06
Anexo 7: Niveles estáticos de pozos de observación en pies.....	A – 07
Anexo 8 Cuadro comparativo de niveles de agua subterránea pozos propiedad de Enacal.....	A – 08
Anexo 09: Cuadro comparativo de niveles de agua subterránea pozos propiedad de Enacal.....	A – 09
Anexo 10: Área construida en la cuenca central del acuífero de Managua	A – 10

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Mi infinito agradecimiento a Dios que me ha dado la suficiente salud y las energías necesarias para culminar este delicado y silencioso trabajo.

Dedico este culminado esfuerzo a mi madre Mercedes, a mis hermanos; Polo, Manuel, Rosibel, Maribel y Sandra, a la memoria de mi hermana Miriam, a los eternos seguidores de mis ejemplos mis sobrinos y demás familiares.

Con todo el merecido respeto y sinceridad agradezco la desinteresada ayuda de:

Mi tutor Ing. Reyna Hernández.

Mi asesor Prof. Dr. Ruediger Shaefer.

Ing. Sergio Gámez.

Ing. Benedicto Valdez.

Ing. Luis Palacios.

Ing. José Luis Rojas

Msc. Brenda Leytón

Personal administrativo del CIEMA

Brindo mi agradecimiento a las instituciones que me apoyaron con la información oportuna según sus posibilidades: Centro de investigaciones y estudios en Medio Ambiente CIEMA, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), Instituto de Estudios Territoriales (INETER), Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), Proyecto Suwar y La Alcaldía de Managua (ALMA).

Managua , 7 de Abril de 2000.

Ing. Sergio Gámez
Director PIDMA
Su Despacho.

Estimado Ingeniero:

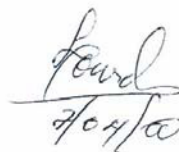
Por este medio solicito la aprobación del tema de tesis : **Balance de la cuenca central del acuífero de Managua utilizando software Flowpath II**, así mismo requerimos todo su apoyo como representante en la Universidad del Proyecto SUWaR, en lo relativo al apoyo logístico, financiero y de gestión ya que dicho tema de investigación está dentro de las líneas del proyecto que usted tan acertadamente representa.

Como parte de los requerimiento y formalidades del procedimiento de solicitud propongo como asesora y tutora del tema a la Msc. Ing Reyna Hernández Calero.

El tiempo requerido para la elaboración completa de la tesis lo hemos estimado en nueve meses contados a partir del mes de abril , sin embargo ya se ha avanzado en el levantamiento de la información, de la cual ya se cuenta con la mayoría de los datos a utilizarse.

En espera de su apoyo en calidad de docente de la UNI, así como de sus observaciones sobre la presente solicitud, le saludo.


Ing. Róger Martínez Poveda.


7/04/00

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente
PIDMA-UNI

☎ 270-1515

☎ Telefax: 278-1462

✉ pidma@tmx.com.ni

Managua, 17 de Abril del 2000.

Ing. Róger Martínez Poveda
Egresado
Maestría Ingeniería Ambiental
Sus Manos

Estimado Ing. Martínez:

Por este medio tengo el agrado de comunicarle que su propuesta de Tesis titulada "**Balance de la Subcuenca Central del Acuífero de Managua utilizando el software FLOWPATH II**", sometida a esta Dirección, con el aval de la MSc Ing. Reyna Hernández Calero y revisión del Prof Dr. Ruediger Shaefer, como requisito para optar al grado de Maestro en Ingeniería Ambiental, ha sido aceptada por esta Dirección.

Se acepta también a la MSc. Ing. Reyna Hernández Calero como tutor de tesis.

Sin más que agregar me suscribo

MSc. Ing. Sergio Gámez Guerrero
Director



Cc: Ing. Reyna Hernández Calero – Tutor
Archivo

Managua, 7 de Junio del 2005.

MSc. Ing. Sergio Gámez Guerrero
Director
CIEMA-UNI
Su Despacho.

Estimado MSc. Gámez:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de Tesis titulado **"Balance de la Subcuenca Central del Acuífero de Managua utilizando el software FLOWPATH II"**, presentado por el Ing. Roger Martínez Poveda, para optar al título de Maestro en Ingeniería Ambiental.

Desde Abril del año 2000 de mi aceptación como tutora de este tema, le he dado seguimiento y posterior a la revisión del borrador, las observaciones y correcciones han sido incorporadas al mismo y considero que cumple con los requisitos académicos y científicos para ser sometido a defensa. Este estudio surgió del interés de conocer si el acuífero está sobrexplotado, partiendo de las interrogantes que surgían de estudios anteriores realizados sobre el acuífero de Managua.

El estudio además permitió realizar una selección de toda la información existente y valiosa que puede servir como base para futuras investigaciones más profundas acerca de la situación del acuífero en estudio.

Sin más que agregar y agradeciendo su atención a la presente, aprovecho la ocasión para saludarle.

Atentamente



MSc. Ing. Reyna Hernández Calero
Tutor de Tesis

Cc: Ing. Roger Martínez Poveda –Tesista CIEMA-UNI.
Archivo personal

RESUMEN

El área total del acuífero de Managua es de 1040 km² comprende las sub cuencas subterránea occidental, central y oriental, en esta la sub cuenca de estudio es la central con un extensión aproximada de 105 km².

Hazen and Sawyer, (1964), reporta que la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Managua ha sido la laguna de Asososca situada al Noroeste de la ciudad, funciona como un gran pozo y es alimentada por agua subterránea. De 1925 a 1992, la mayor parte de la extracción provenía de dicha laguna y el otro porcentaje era obtenida por los pobladores a través de pozos perforados manualmente por los mismos.

Según estimaciones realizadas el acuífero de Managua tiene una disponibilidad de 158 millones de m³ (mmc) de los cuales se abastecen 20 poblados y 18 comunidades rurales incluyendo la ciudad de Managua que alberga 1.2 millones de habitantes. (Proyecto SUWAR - MARENA, Vulnerabilidad Hidrogeológica ,2000).

La explotación del agua subterránea comenzó en Managua a raíz de 1970., por parte de la empresa de agua DENACAL. Para 1972 el 60% del abastecimiento de agua a Managua provenía de la Laguna de Asososca, alimentada por aguas subterránea proveniente de la meseta y el resto (40%) era tomado por los pobladores por pozos perforados manualmente (25.1 millones de metros cúbicos a un nivel de laguna de 37.5 m.s.n.m), y es a partir de este año que se sospecha que puede haber una inversión del gradiente hidráulico entre el lago de Managua y la Laguna de Asososca, lo que contaminaría esta última con aguas poluídas provenientes del lago, sin embargo esta tesis no fue confirmada por PLATA, A. (1985) usando técnicas isotópicas.

Los resultados mostrados en el informe JICA,1993, con respecto a la sub cuenca Central plantea:

Sección 7.2.1(a)

“La sub cuenca hidrogeológica central pertenece al área donde el uso del agua subterránea debe regularse porque se presume existe sobre extracción.”
(Pág. 7-5)

En otras partes el mismo informe plantea:

Sección 4.8.4 (2)

“La extracción del agua subterránea, en la sub – área, se ha incrementado para el uso domestico e industrial de la ciudad de Managua..., pero en detalle las áreas deprimidas corresponden con las áreas de bombeo intensivo. El nivel de agua de la laguna de Asososca ha estado continuamente descendiendo, debido a una sobre explotación” (Pág.4-143,4-144).

Para esta tesis se planteó como objetivo general: Utilizando información disponible y el software Flowpath II , determinar el balance hídrico de la Subcuenca Central del acuífero de Managua. Y tomando en cuenta este se plantearon como preguntas de investigación las siguientes:

- 1) ¿Está realmente sobre explotada la cuenca central del acuífero de Managua?
- 2) ¿Cuáles son sus propiedades hidráulicas y la información que confirman la sobre explotación?

El modelo se conceptualizó de la siguiente forma:

La estratigrafía corresponde a estratos de edad geológica terciarios y cuaternarios Plio Pleistoceno y Pleistoceno, fue definido como un acuífero libre, no confinado, isotrópico, heterogéneo. Se ubicaron geo referenciados un total de 32 pozos. Las fronteras y factores externos corresponden a la divisoria del agua subterránea (carretera Managua - El Crucero). Las cargas constantes

consideradas son: Lago de Managua, Las lagunas de Asososca, Tiscapa, Nejapa. La recarga se estimó considerando la distribución de la precipitación establecida en el plano de isoyetas y se tributaron de acuerdo al área localizada entre dos curvas. El rango de porosidad considerado fue de 15 a 25 %. La conductividad Hidráulica: 0.04 – 400 m / día.

Se analizó la información proveniente de: ENACAL, MARENA, INETER, MTI y La Alcaldía de Managua, para la elaboración del modelo. Este se calibró tomando en cuenta el criterio de la conductividad promedio haciendo la relación entre la transmisibilidad y fondo con los valores recomendada por el informe JICA para la cuenca central, el error final fue de 0.0094%. Como resultados se consideran: Es el primer modelo que permite localizar valores de conductividad por formación hidrogeológica, la dirección del flujo se mantiene a pesar de las diferencias de conductividades de sur a norte en dirección al lago en la mayor parte del área de la cuenca. El balance general obtenido refleja una relación de 84.27% (extracción / recarga), en la corrida de más bajo error se observan los resultados siguientes:

Recarga neta:	135,611.8455 m ³ /día
Extracción por bombeo:	114,289.3000 m ³ /día

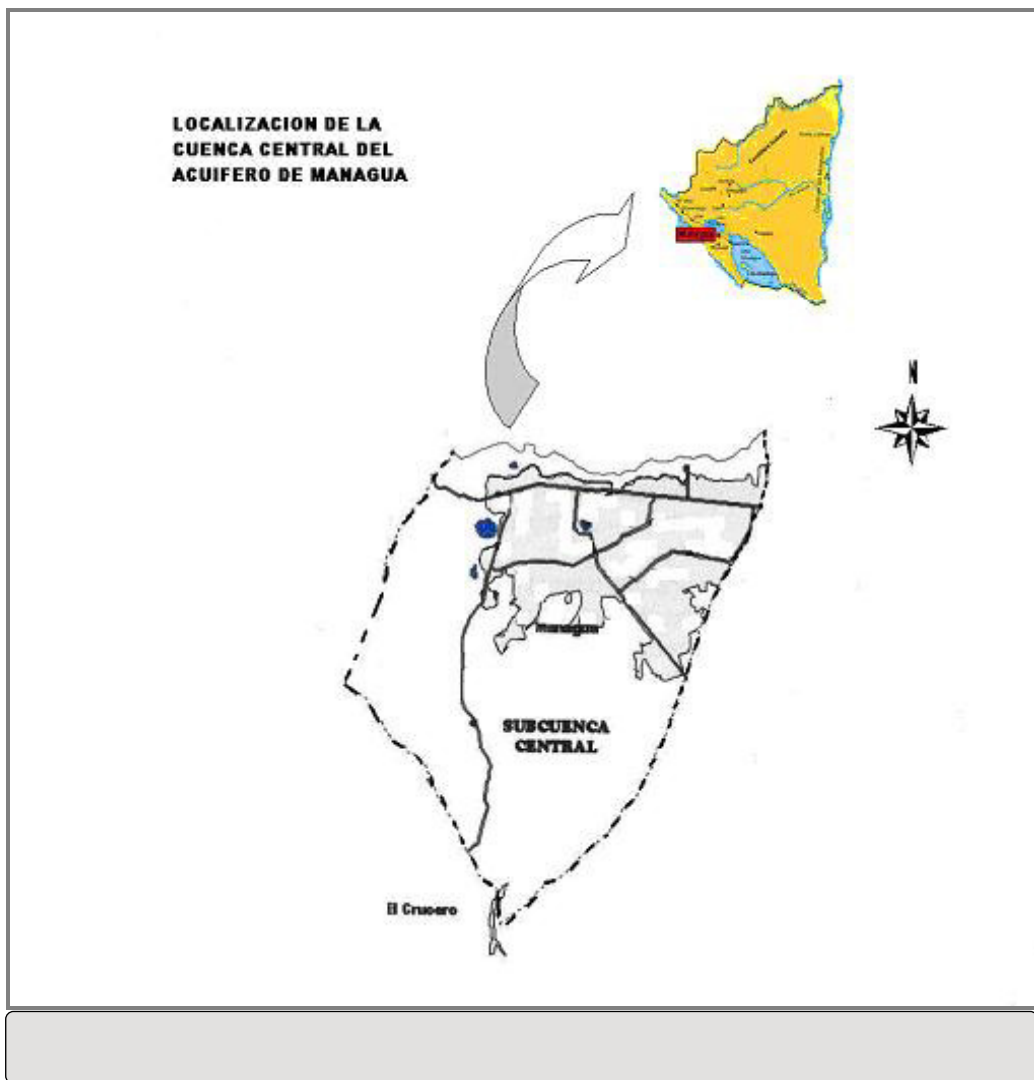
La conclusión final es: La sobre explotación de la cuenca central del acuífero de Managua aun no es evidente puesto que no hay inversión de flujo del lago hacia el acuífero, si se observa es mínima en la zona costera puede ser aparente por la ubicación misma de los pozos que es muy desordenada, no hay asentamientos de suelo que haya registrado el organismo competente, sí hay una extracción sin control, y la creciente urbanización está impermeabilizando áreas de recarga del acuífero disminuyendo en alto grado las posibilidades de recarga. La posibilidad de hacer un balance Hídrico real para medir la disponibilidad o déficit de aguas subterráneas dependerá de la revisión de todos los parámetros del acuífero ya que de acuerdo a la información recopilada se ve que hay muchas diferencias a pesar del tratamiento estadístico que se puede hacer, a manera de ejemplo las precipitaciones anuales acumuladas según registros es una y el mapa de isoyetas es otro.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Localización y geología del área de estudio

El área total del acuífero de Managua es de 1040 km² comprende las sub cuencas subterránea occidental, central y oriental, en esta la sub cuenca de estudio es la central con una extensión aproximada de 105 km².

Figura 1: Localización de la cuenca central del acuífero de Managua.



1.1.1 Los límites del acuífero del área de Managua:

Norte: La costa sur del Lago de Managua

Sur: La divisoria de aguas subterránea que va desde el poblado de Niquinohomo hasta el Crucero.

Este: Carretera que une las ciudades de Tipitapa y Masaya.

Oeste: Divisoria de aguas subterráneas que pasa por el Crucero. Sierras de Managua. Sierra de Mateare incluyendo la península de Chiltepe.

Hazen and Sawyer, (1964), reporta que la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Managua ha sido la laguna de Asososca situada al Noroeste de la ciudad, funciona como un gran pozo y es alimentada por agua subterránea. De 1925 a 1992, la mayor parte de la explotación del acuífero provenía de dicha laguna. La diferencia que no era cubierta por Asososca, era suministrada a la población a través de pozos perforados manualmente por los mismos

En Managua a pesar que la explotación aumentó por pozos perforados en 1970, fue hasta 1989 que se realizan los primeros estudios que identificaban alrededor de 20 acuíferos en las principales regiones que constituyen nuestro país (Norberto Fentz: Geología e hidrogeología de Nicaragua e Investigaciones de Aguas Subterráneas ONU, 1971-1976)

Según estimaciones realizadas el acuífero de Managua tiene una disponibilidad de 158 millones de m³ (mmc) de los cuales se abastecen 20 poblados y 18 comunidades rurales incluyendo la ciudad de Managua que alberga 1.2 millones de habitantes. (Vulnerabilidad Hidrogeológica :Proyecto SUWAR – MARENA, 2000).

1.1.2 Geología del área de Managua

1.1.2.1 Estratigrafía

Estratigráficamente las rocas del área de Managua y alrededor comprenden esencialmente desde el Pleistoceno al Reciente, es decir del Cuaternario. Las rocas más antiguas corresponden a piroclastos de la formación La Sierra. Estas rocas yacen sobre las de la formación El Salto, ínter digitada en su parte superior con las de la formación La Sierra. Subyaciendo en forma discordante se encuentran las formaciones El

Fraile y El Tamarindo de origen sedimentario y volcánico respectivamente, ocupando la parte del basamento de la ciudad.

El paisaje que formó la formación La Sierra era ondulado, sobre la cual se depositaron las rocas del Holoceno o sea del Cuaternario. Sobre estos depósitos se formaron los aluviones y aparecieron los suelos residuales. Estos materiales del subsuelo de Managua provienen de los focos Holocénicos de Apoyeque, Nejapa y Motastepe y de los Holoceno-Pleistocénicos de Tiscapa así como los cineríticos de Chico Pelón y Apoyo. Parte de ésta actividad corresponde a los materiales volcánicos de la caldera de Masaya.

Los materiales más viejos pertenecientes a la formación La Sierra algunos geólogos los han denominados Grupo La Sierra, mientras que los más nuevos que se encuentran sobre ella pertenecen al Grupo Managua. El primero se ha datado como Cuaternario Recientes, Holoceno y Pleistoceno Superior y el segundo se le ha asignado edad Pleistoceno Inferior.

En el área de Managua no existe una columna estratigráfica única o completa, esto se debe en parte a la fuerte meteorización y erosión de sus materiales o a la no depositación de algunos niveles.

1.1.2.2 Litología

1.1.2.2.1 Materiales volcánicos del Pleistoceno Inferior (formación La Sierra)

Son unos flujos de lodo compuestos por rocas volcánicas piroclásticas, depositadas en un ambiente de aguas someras.

Los horizontes inferiores están representados por tobas aglomeráticas poco cementadas, con presencia de pómez, con espesor de 150m, encontrándose ínter digitada con rocas de Formación El Salto. El ambiente deposicional es marino playera, presentándose en forma de capas u ondulaciones. Han sido considerados como de edad Plio-Pleistoceno (Juan Kuan, 1973).

Suprayaciendo las tobas aglomeráticas se presentan unas tobas de color claro, en parte rosadas o gris en su parte superior con lapilli basáltica intercalada. Este horizonte superior fue explorado en algunos sitios como el de la micro-presa Pozo Norte. También se encuentra, según los geólogos nicaragüenses, en la zona del barrio San Judas y Colonia de Centro América. Su espesor ha sido calculado en unos 500m (Juan Kuan, 1973).

Los materiales que yacen sobre el horizonte de color gris, presentan discordancia deposicional, indicando pausa en la actividad volcánica.

El material constituyente es una ceniza con fragmentos de lapilli y bombas, de aspecto calichado.

1.1.2.2.2 Materiales volcánicos del Pleistoceno Superior y del Holoceno (grupo Managua)

Son depósitos con materiales de pobre compactación, sueltos, a diferencia de los que componen la Formación La Sierra del Pleistoceno. El suelo residual superior que muchas veces observa indica una interrupción de la actividad volcánica y un período relativamente largo en el cual esta expuesta la formación.

Los materiales descritos tienen su origen en el volcán Nejapa y Apoyequé, así como en el Tiscapa y Masaya.

La estructura de Nejapa comprende la Laguna de Acahualinca formada por piroclastos y pómez, San Fernando formada por basaltos, piroclastos y pómez, Laguna de Asososca por piroclastos y pómez y estructura de Mar al oeste de Asososca, formada por piroclastos. Incluye también el esqueleto de cuello volcánico en el extremo sur-este de Asososca, formado por lapilli basálticos y subordinadamente flujos basálticos, Batahola formada en gran parte por flujos basálticos, Cerro Motastepe por volcánico cinerítico, Laguna de Nejapa formada por piroclastos gruesos y aglomerados en su parte superior.

La depresión de Ticomio se encuentra formada por flujos basálticos en la base y piroclastos y pómez en su parte superior.

Los contactos litológicos son irregulares y siempre se interdigitan complicando su cartografía.

Vale la pena destacar que la Laguna de Tiscapa se encuentra formada por toba aglomerática con mala compactación, toba suelta, ceniza de color negro suelta y lapilli. El cono de Chico Pelón se encuentra formado por escoria basáltica lapillica, poco compactada. (Informe JICA.1993,pag.4-21)

Una descripción somera sobre las unidades más importantes exploradas en el área de Managua es la siguiente (véase figura 2).

a. Fontana Lapilli

Capas de polvo, ceniza y lapilli basáltico negro, separadas por dos o tres capas blancuzcas, bien compactadas, especialmente entre las partículas de lapilli. La parte superior la ocupa un suelo residual producto de desintegración de sus capas. El sitio típico de su afloramiento es el área residencial de Villa Fontana.

b. Pómez de Apoyo

Son materiales provenientes de la caldera de Apoyo. Se encuentran bien distribuidas en la ciudad de Managua. Es posible diferenciar hasta tres capas individuales hasta 1.0m de espesor, separadas por suelos que han sido desarrollados en la parte superior, debido a interrupciones de la actividad volcánica. El afloramiento tipo se encuentra en el camino de San Isidro de la Cruz Verde. La capa inferior presenta textura uniforme con fragmentos finos de pómez blanco. Las otras capas contienen granos finos en la parte inferior y superior y gruesos en la parte media.

c. Lapilli Negro Intermedio

Se trata de fragmentos basálticos tipo arena y limo. Las arenas son negras y se encuentran junto con las cenizas. A veces es difícil diferenciarlas de la unidad Pómez del Apoyequé. El sitio tipo se encontró en los alrededores de Villa Fontana y alrededores del Banco Central.

d. Gravas de Altamira

Se depositaron en los valles aluviales debido al transporte de materiales gruesos, los cuales fueron bien calibrados y estratificados. Los materiales eran esencialmente basálticos. Se trata de arenas y gravas bien calibradas, algunas capas no presentan cohesión siendo friables. Hacia la parte superior se encuentra material fino. Las gravas alcanzan 15cm de diámetro. Es común observar estratificación cruzada.

e. Cenizas de Tiscapa

Se trata de lapilli gris claro a oscuro con intercalaciones de ceniza. El sitio tipo se encuentra en el cono del Volcán Tiscapa. Algunas capas se encuentran bien compactas como en el caso de las micro-presa La Colonia, aunque al oeste del cráter de Tiscapa las partículas de ceniza y limo se encuentran sueltas. Esta unidad marca el límite superior del Pleistoceno inferior.

f. Ceniza de Motastepe

Representa materiales provenientes de la estructura volcánica de Nejapa. Se trata de un paquete de arena y limo, con cenizas estratificadas. Los estratos de ceniza son compactos. Esta cenizas yace sobre las Gravas de Altamira.

g. Pómez del Apoyeque

Estos materiales provienen del Volcán Apoyeque. Se compone de dos o tres capas de pómez blanco. En la Cuesta del Plomo se encuentran dos capas, una por debajo de la Formación San Judas y otra por encima.

h. Formación San Judas

Es una unidad guía desde el punto de vista estratigráfico, debido a su extensión en el área. Se compone de dos o tres capas de toba, compacta, con intercalación de lapilli. Este último material casi siempre se observa meteorizado produciendo arcilla limosa, no así la toba que permanece inalterada. Se observa en casi todos los caminos y excavaciones para las construcciones grandes. Posee un espesor de 30 cm a 40 cm, pero se encuentran espesores mayores en algunas localidades. Debajo de la formación siempre se encuentra un suelo fósil con fragmentos vegetales.

i. Tobas El Retiro

Proviene de la erupción volcánica de materiales finos tobáceos, de color gris en la base y amarillento en la parte superior. Son tobas de grano fino, compactas.

Figura 2: Principales estructuras geológicas en el área Managua.

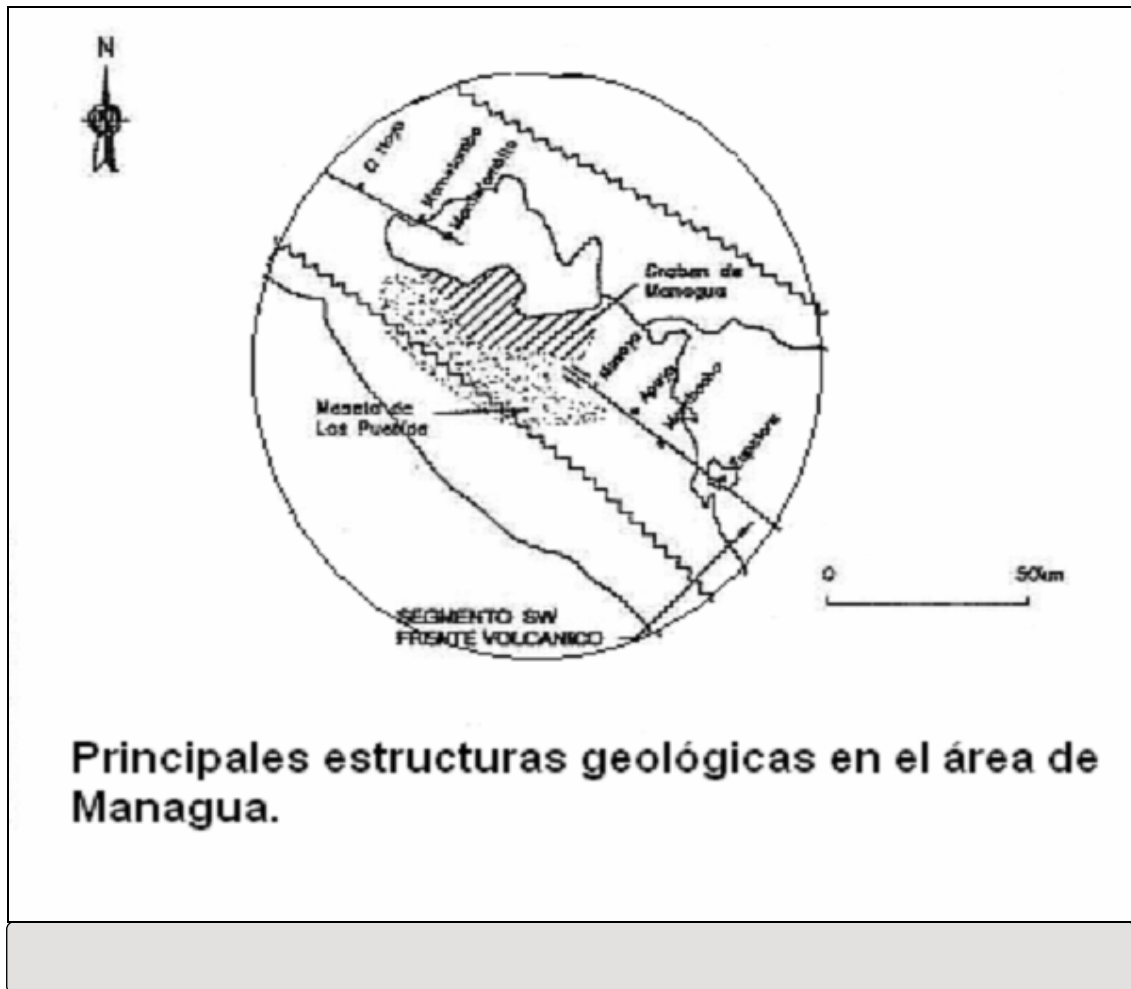
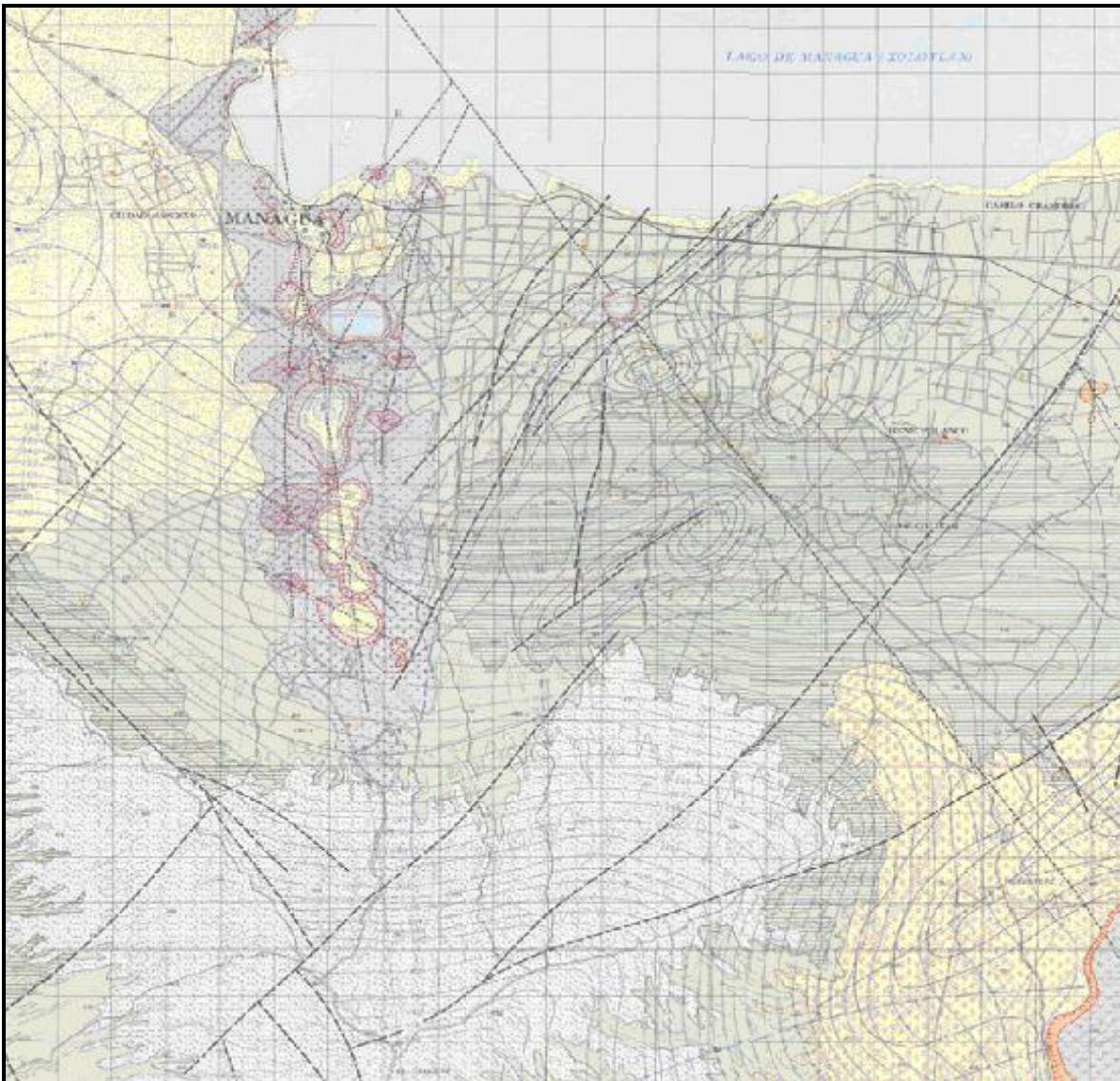


Figura 3: Mapa Hidrogeológico del Área de Estudio



Fuente: Proyecto de abastecimiento de agua en Managua. Informe JICA 1993

1.2 Identificación y definición del estudio

La ciudad de Managua cuenta en la actualidad con una población de 1, 283, 954 habitantes (Boletín demográfico ALMA, 2001) con una tasa promedio de crecimiento de 2.9% anual, este crecimiento ha originado un déficit de agua potable para satisfacer la demanda de la ciudad capital.

La explotación del agua subterránea comenzó en Managua a raíz de 1970, por parte de la empresa de agua DENACAL. Para 1972 el 60% del abastecimiento de agua a Managua provenía de la Laguna de Asososca, alimentada por aguas subterráneas provenientes de la Meseta de los Pueblos (Cuestas de Diriamba) y el resto era tomado por los pobladores por pozos perforados manualmente (25.1 millones de metros cúbicos a un nivel de laguna de 37.5 m.s.n.m), y es a partir de este año que se sospecha que puede haber una inversión del gradiente hidráulico entre el lago de Managua y la Laguna de Asososca, lo que contaminaría esta última con aguas poluídas provenientes del lago, sin embargo esta tesis no fue confirmada por A. Plata Bedmar (1984,1985 y 1988) usando técnicas isotópicas. En los años 80 se incrementó la explotación por medio de pozos tubulares, y por estudios recientes se ha llegado a suponer que la Subcuenca Central está sobre explotada, pero esta suposición parte del incremento de la extracción y del estudio conjunto de las tres sub cuencas que conforman el acuífero y de los resultados mostrados en el informe JICA,1993, al respecto este plantea:

Sección 7.2.1(a)

“La sub cuenca hidrogeológica central pertenece al área donde el uso del agua subterránea debe regularse porque se presume existe sobre extracción.” (Pág. 7-5)

En otras partes el mismo informe plantea:

Sección 4.8.4 (2)

“La extracción del agua subterránea, en la sub – área, se ha incrementado para el uso domestico e industrial de la ciudad de Managua..., pero en detalle las áreas deprimidas corresponden con las áreas de bombeo intensivo. El nivel de agua de la laguna de Asososca ha estado continuamente descendiendo, debido a una sobre explotación” (Pág.4-143,4-144).

Tomando en cuenta los datos que se tienen del acuífero hasta el año 2000 se plantea hacer un análisis del comportamiento y del grado de sobreexplotación de la cuenca central a partir de la aplicación de un modelo y de cierta información que es necesario evidenciar para tener certeza sobre dichas afirmaciones.

1.3 Objetivos del estudio

Objetivo General

- Utilizando información disponible y el software Flowpath II , determinar el balance hídrico de la Subcuenca Central del acuífero de Managua.

Objetivos Específicos

- 1) Recopilar datos y estudios previos sobre la subcuenca Central.
- 2) Construir el modelo del acuífero.
- 3) Calibrar el modelo.
- 4) Determinar información complementaria necesaria para el modelo..

Preguntas de Investigación

- 3) ¿Está realmente sobre explotada la cuenca central del acuífero de Managua?
- 4) ¿cuáles son sus propiedades hidráulicas y la información que confirman la sobre explotación?

Capitulo 2: Metodología de trabajo

2.1 Preliminares

Una vez delimitado el área a estudiar, se procedió a recopilar información, seleccionar aquella que presentará mayor dispersión para darle un tratamiento estadístico preliminar, las fuentes de información fueron: ENACAL, MARENA, INETER, MTI, Proyecto Suwar y Cigeo.

2.2 Definición del modelo conceptual

Para la definición del modelo conceptual se tomó en cuenta la elaboración preliminar del modelo para ser más eficiente en su definición, así como de experiencias existentes alrededor del comportamiento de las partes componentes de un acuífero.

2.2.1 Elaboración del modelo definitivo

En la construcción del modelo definitivo se tomaron en cuenta los siguientes pasos:

- a) Delimitación de la cuenca geo referenciada, es decir localizar el acuífero, definiendo para ello las zonas inactivas. Se usó el mapa base realizado por el proyecto JICA.
- b) Discretización de la malla (Trazado y afinado).
- c) Localización de los Pozos de explotación, geo refenciados, afinando en cada uno su localización en la malla.
- d) Asignación de fronteras de cargas constantes.
- e) Trazado del fondo. Se utilizó el fondo realizado por el proyecto JICA.
- f) Asignación de Porosidad efectiva, se utilizó como base los porcentajes definidos para cada material, tomando en cuenta la formación geológica existente en cada lugar.
- g) Elaboración de mapas de recarga. Se tomaron en cuenta los porcentajes de recarga definidos por el JICA, así como el mapa de Isoyetas, como puede observarse, no se utilizaron los datos de precipitación de las estaciones localizadas en la zona debido a que la información es muy reciente, y no hay suficiente historial de datos.
- h) Localización de los valores de conductividad hidráulica de acuerdo a la formación geológica existente así como de las fuentes de información existente.

- i) Corrida inicial del modelo.

2.3 Calibración del modelo

La calibración del modelo se realizó tomando en cuenta un parámetro que es la conductividad hidráulica, es decir se consideraron los valores definidos en cada estudio para este parámetro que son:

- a) Los recomendados por Oscar Cruz en su tesis: " Modelaje del Acuífero de Managua y su Rendimiento Sostenible."(1997)
- b) Los recomendados por Norman Bethune en el estudio: " Estudio de Campo y Modelaje de la Contaminación de las Aguas Subterráneas de la Laguna de Asososca."(1991)
- c) Los recomendados por N. Fentz de acuerdo a las unidades geológicas (1989)
- d) Los recomendados por el informe JICA, tomando en cuenta la cuenca central.(1993)

2.4 Análisis de la información complementaria

Dentro de la información complementaria considerada están:

- a) La concerniente a los hundimientos de suelo registrada por el INETER, que consiste en dos estudios realizados por este organismos en dos lugares próximos a la cuenca.
- b) La existencia de manantiales en la cuenca, los que no existen para poder determinar la merma en sus caudales.

- c) Los datos sobre el área construida fueron obtenidos de dos fuentes:
La alcaldía de Managua (ALMA) y el Ministerio De Construcción Y Transporte.(ver anexo)

Capítulo 3: Aspectos teóricos

3.1 Acuífero

Se le denomina acuífero a un material permeable a través del cual fluye realmente agua subterránea. Por lo tanto se puede definir como acuífero a toda acumulación de agua en el subsuelo, importante en magnitud en estado total de saturación. Caracterizado por movimiento lento, si se trata de un medio poroso granular y rápido si es un medio continuo de fisuras y fracturas abiertas. (Castilla R. Antonio,1985. Agua Subterránea)

3.2 Rocas que forman acuíferos

3.2.1 Depósitos sedimentarios no consolidados (grava, arena) pueden ser producto de: erupciones volcánicas y erupciones de las montañas a los valles, los cuales son de origen hídrico y eólicos.

3.3 Tipos de formaciones geológicas en el subsuelo

3.3.1 Acuíferos: Formación de grava y / o arena; porosa saturada que almacena y cede agua. Las capas confinantes pueden estar divididas en: Acuífugos, Acuicludos y acuitardos.

3.3.1.1 Tipos de acuíferos

Los acuíferos tienen profundidades, extensiones laterales y espesores variables, y conforme a su comportamiento hidráulico se pueden reconocer las siguientes categorías o tipos de acuíferos (Kruseman,G.P y N. A. De Rider 1970).

3.3.1.1.1 Acuífero confinado: Este tipo de acuífero está limitado por un techo superior o capa confinante relativamente impermeable que restringe el movimiento de agua y mantiene el agua bajo presión. Dicha presión se puede deber a diferentes causas entre ellas:

Carga hidráulica que proporciona, la diferencia de nivel entre la zona de recarga y el lugar que se considere.

Por sobrecarga de estratos que se encuentran por encima del acuífero que lo comprime.

Por incorporación de aire al regarse el acuífero, el cual le otorga presión, como si se tratase de un sifón de soda.

3.3.1.1.2 Acuífero semi – confinado: Se habla de acuífero semiconfinado cuando la capa confinante del acuífero es semi-impermeable, es decir, que tiene una permeabilidad muy inferior a la del acuífero. En tales casos se considera insignificante el movimiento horizontal del agua, tomando en cuenta solo el movimiento o filtración vertical del agua en la capa confinante. El acuífero semi-confinado es un acuífero confinado que recibe agua de la capa superior cuando la superficie piezométrica es más elevada que la superficie freática del agua en la capa semi-confinante. Si el nivel freático está por debajo del nivel piezométrico hay movimiento de agua hacia arriba.

3.3.1.1.3 Acuífero semi-libre: El acuífero semi-libre difiere del acuífero confinado en que la permeabilidad de la capa superior es inferior pero del mismo orden de magnitud que la capa inferior. Ambos admiten una misma superficie libre real sometida a la presión atmosférica y se comporta como un

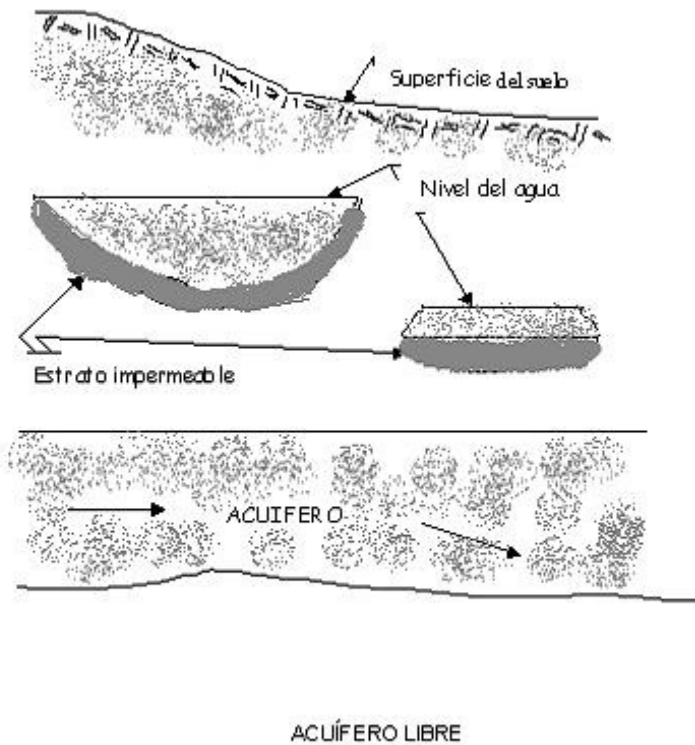
acuífero único, aunque la capa superior libera el agua con alguna demora. El sacar agua de tal acuífero provoca el desagüe parcial del acuífero de modo que éste no queda saturado en todo su espesor original.

3.3.1.1.4 Acuífero libre: Un acuífero libre (no confinado o freático) se forma por precipitación que se infiltra, la zona de saturación se apoya en un lecho impermeable y carece de techo o capa superior impermeable, la superficie freática (nivel freático); se encuentra a la presión atmosférica al perforar un pozo, el nivel de agua de este coincide al perforar un pozo.

La diferencia entre un acuífero libre y uno semi - libre es que el primero está formado de una sola capa y comúnmente la liberación del agua es instantánea y sin demora alguna.

3.3.1.1.5 Acuífero colgado: Cuando una parte del agua subterránea queda separada de la zona de saturación por un pequeño estrato impermeable se denomina acuífero parchado o colgado.

Figura 4: Esquema de un Acuífero Libre



3.3.1.2 Funciones de un acuífero:

Un acuífero realiza dos funciones importantes que son :

- a) Almacenamiento
- b) Conducto

En la función de almacenamiento hay tres propiedades en la que descansa esta función que son:

3.3.1.2.1 Porosidad: Llámese porosidad a la relación entre el volumen de poros y el volumen total de un suelo o roca.

$$f = \frac{V_a}{V_t} * 100$$

f : Expresa la porosidad en %.

V_a : Volumen de agua requerido para llenar o saturar todo el volumen de los poros.

V_t : Volumen total de la roca o del suelo.

La porosidad es un índice de la cantidad de agua subterránea que se puede almacenar en el material saturado. La porosidad de los materiales sedimentarios varía desde cerca de 0 hasta más del 50%.

3.3.1.2.2 Rendimiento específico: La porosidad representa la cantidad de agua que un acuífero puede contener, pero no indica cuanta agua puede dar. Cuando por acción de la gravedad se desagua un material saturado, solo parte del volumen total almacenado en sus poros se libera . Se llama Rendimiento específico la relación entre el volumen de agua que puede desaguar por gravedad de un material saturado, y el volumen total de este material.

$$R_e = \frac{100 * V_d}{V_t}$$

V_d : Volumen desaguado

V_t : Volumen total del material

El término porosidad efectiva tiene significado igual a rendimiento específico.

3.3.1.2.3 Función conducto: Es realizada en un acuífero por una propiedad conocida por permeabilidad (conductividad hidráulica (K)), el coeficiente de conductividad depende del tamaño, y disposición de las partículas en una formación no consolidada y del tamaño y características de las superficies de las fisuras, fracturas o canales de solución de las formaciones consolidadas. También depende de las características del fluido: varía inversamente con el coeficiente de viscosidad. Llámese coeficiente de permeabilidad de un acuífero a la velocidad con que fluye el agua a través de él con un gradiente hidráulico igual a 1.0 y a la temperatura de 15 °C. El coeficiente de permeabilidad también puede definirse como el caudal que pasa por un área unitaria con un gradiente hidráulico de 1.0 y a una temperatura de 15° C ó 60° F.

El coeficiente de transmisibilidad se obtiene multiplicando el coeficiente de permeabilidad por el espesor (m) del acuífero. Este suele definirse como el caudal que pasa por una sección vertical del acuífero que tiene una unidad de ancho y una altura igual al espesor del acuífero, con un gradiente hidráulico de 1.0.

3.3.2 Acuitardos llamados también capa confinante filtrante: Medio poco permeable o de baja permeabilidad (semipermeable) que es capaz de transmitir lentamente el agua. Un acuífero semiconfinado está limitado al menos por un Acuífardo. Es de gran interés considerar la permeabilidad vertical (K) del medio semipermeable.

3.3.3 Acuífugo: formación geológica, que no es capaz de almacenar ni transmitir agua (roca).

3.3.4 Acuícludo: Se define como aquella formación geológica que conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación pero no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación.

3.4 Ley de Darcy

Henri Darcy fue un ingeniero francés que investigó el flujo de agua a través de lechos filtrantes de arena. Formuló lo que se conoce como la ley de Darcy que hoy en día continua en uso como principio básico que gobierna el flujo de agua subterránea, su expresión matemática es la siguiente:

$$Q = (A * K_f) * \left(\frac{\partial h}{L} \right) \quad (1)$$

En donde $V = (K_f)(\partial h / L)$ y $\partial h = h_1 - h_2$ (diferencia de carga hidráulica)

L : La distancia a lo largo de la trayectoria del flujo entre los puntos donde se mide h_1 y h_2

K_f : Es la permeabilidad o conductividad hidráulica que depende de las características del material poroso a través del cual tiene lugar el flujo de agua.

Por definición, la diferencia de carga hidráulica (h_1-h_2) dividida por la distancia L , a lo largo de la trayectoria del flujo es el gradiente hidráulico.

Generalmente, la cantidad de flujo o caudal es de mayor Interés que la velocidad, por lo que la ley de Darcy se puede escribir en forma mas conveniente mediante la expresión:

$$Q = A * V = Q = A * \left(K_f * \frac{\partial h}{L} \right) \quad (2)$$

En donde A es el área de la sección transversal a través del cual se desplaza el agua y Q es el volumen de agua por unidad de tiempo a caudal en (m^3/d).

Esta ecuación puede ser expresada también en términos de carga específica el flujo de Darcy (q) que es el caudal dividido entre la sección transversal A.

$$q = (-k) * \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad (3)$$

La ley de Darcy se obtuvo para un flujo dimensional pero la carga está en función de tres dimensiones.

$$h = h(x, y, z)$$

Escalar, Vector y Tensor, Propiedades de carga hidráulica y conductividad hidráulica.

Primero definiremos algunos términos relacionados como tensor. Un tensor de valor cero puede ser llamado un escalar, que es una cantidad caracterizada solo por su tamaño y magnitud. Ejemplo: En Hidrogeología un tensor es la carga hidráulica, concentración química y temperatura. En primer lugar tensor o vector es una cantidad que tiene ambas, una magnitud y una dirección. Los vectores requieren tres componentes cada una tiene magnitud y dirección, como ejemplo tenemos la velocidad, la descarga específica, el flujo como masa y el flujo como carga. En segundo lugar el tensor actúa como el producto de dos vectores, que requieren nueve componentes para contar con todas las

posibles combinaciones producto de las tres posibles componentes de cada vector, ejemplo de tensor en hidrología esta la permeabilidad intrínseca, conductividad hidráulica, conductividad termal y dispersión hidrodinámica.

La carga hidráulica es un escalar. Sin embargo el gradiente es un vector que tiene ambas, magnitud y dirección. El gradiente de h es designado como $grad\ h$.

$$grad\ h = \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) \vec{i} + \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right) \vec{k}$$

Donde $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ son vectores unitarios en la dirección x, y, z . Una notación equivalente es el uso del vector diferencial el cual tiene el símbolo ∇ . Este operador es equivalente a:

$$\frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$$

Otro vector es la descarga específica q . Esta tiene tres componentes q_x, q_y, q_z en el eje de las coordenadas cartesianas. Asociada con un vector es un escalar positivo con un valor igual a la magnitud del vector. Si q es la magnitud del vector q , este puede ser expresado como:

$$q = |q|$$

En segundo orden el tensor K conductividad hidráulica, puede ser descrito por 9 componentes. En forma de matriz que es expresada como:

$$K = \begin{pmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{pmatrix} \quad (A)$$

Si el tensor es simétrico, $K_{ij} = K_{ji}$ entonces hay solo seis componentes independientes de K .

Si el sistema de coordenadas esta solamente orientado sobre el eje principal, el tensor es:

$$K = \begin{pmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{pmatrix} \quad (B)$$

Para el caso especial de un medio isotrópico, que el valor de K no depende de la dirección en que es medido sería:

$$K = \begin{pmatrix} K & 0 & 0 \\ 0 & K & 0 \\ 0 & 0 & K \end{pmatrix} \quad (C)$$

Las tres componentes del vector de carga específica q son:

$$q_x = -K_{xx} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) - K_{xy} \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) - K_{xz} \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right)$$

$$q_y = -K_{yx} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) - K_{yy} \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) - K_{yz} \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right)$$

$$q_z = -K_{zx} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) - K_{zy} \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) - K_{zz} \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right)$$

Para el caso especial donde se orienta los ejes x,y, y z con el sistema de coordenadas las tres direcciones principales de anisotropía de K es la matriz B y las tres componentes del vector de descarga específica son:

$$q_x = -K_{xx} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (4)$$

$$q_y = -K_{yy} \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) \quad (5)$$

$$q_z = -K_{zz} \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right) \quad (6)$$

Para un material isotrópico K es representado por la matriz (C) y

$$q = -K \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) - K \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) - K \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right) \text{ o } q = -K \text{grad } (h)$$

Si se multiplican ambos vectores el resultado es un escalar y el producto es llamado producto punto o producto interno. Basado en el gradiente h, podemos encontrar una velocidad v tal que la magnitud y dirección varia a través del medio poroso. Si multiplicamos el operador ∇ a v se obtiene los siguientes:

$$\nabla \cdot v = \text{div } v = (\partial V_x / \partial x) + (\partial V_y / \partial y) + (\partial V_z / \partial z)$$

Si se aplica el operador ∇ al $\text{grad } h$ el resultado es la segunda derivada de la carga:

$$\nabla \cdot \text{grad } h = (\partial^2 h / \partial x^2) + (\partial^2 h / \partial y^2) + (\partial^2 h / \partial z^2)$$

Para la condición de régimen permanente

$$Q_e = Q_s = Q_e - Q_s = 0 \quad (7)$$

$$qA - \left(q + \left(\frac{dq}{dL} \right) (L) \right) A = 0, \text{ entonces, } \left(\frac{dq}{dL} \right) (L) (A) = 0 \quad (8)$$

Para la componente del flujo q_x

$$L = (\delta x)$$

$$A = (\delta y) (\delta z)$$

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) (\delta x)(\delta y)(\delta z) = 0$$

La ley de Darcy nos expresa que el flujo dentro de una arena saturada varia directamente con el gradiente hidráulico.

El tipo de flujo líquido descrito mediante la ley de Darcy, se conoce como flujo laminar. El flujo que fluye a través de la tubería puede tener régimen laminar a velocidades bajas, pero por lo general circula bajo condiciones conocidas como turbulentas. En el régimen de flujo turbulento el caudal no varía en proporción directa con el gradiente hidráulico. Las velocidades del agua subterráneas son típicamente bien lentas. Sin embargo algunos flujos rápidos pueden ocurrir en cavidades de rocas o en rocas fracturadas.

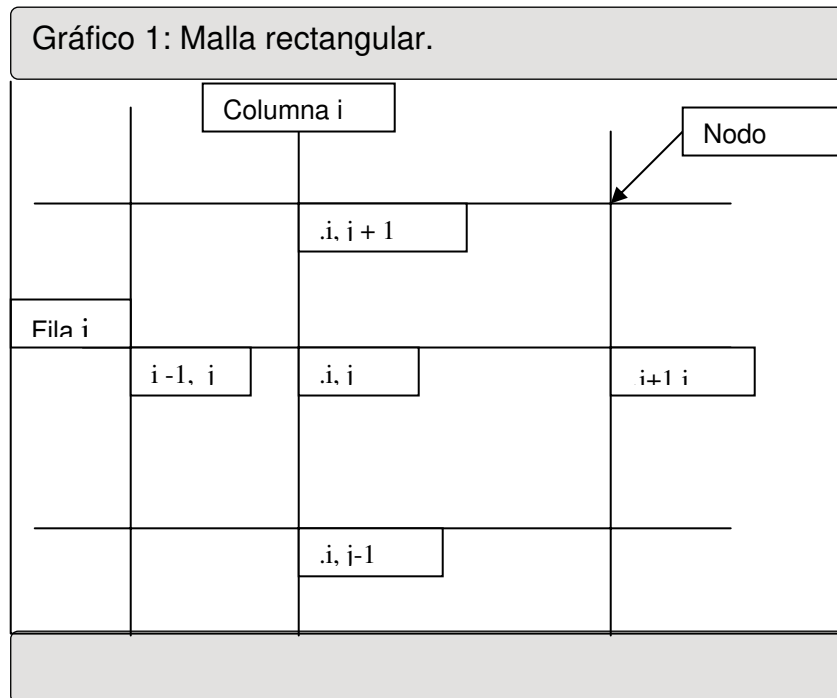
3.5 Implementación numérica

La última ecuación (8) toma en cuenta la tres direcciones pero el modelo usado trabaja bidimensionalmente por lo que para su implementación se hace en función de x , y , y es resuelta por el método de diferencias finitas. En dicha ecuación las derivadas ∂x , ∂y parciales son aproximada por longitudes finitas Δx , Δy . El acuífero se subdivide (se discretiza) en bloques con longitudes laterales Δx y Δy , espesor b . De esta manera la ecuación toma la forma de balance de masa fluida, para un conjunto de volúmenes finitos del acuífero. La formulación bidimensional no considera gradientes verticales de carga hidráulica y velocidades.

Sobre el mapa del sistema de flujo de agua subterránea, se superpone una malla rectangular para discretizar el sistema con celdas muy pequeñas comparadas con el acuífero, en el caso límite para un número infinito de

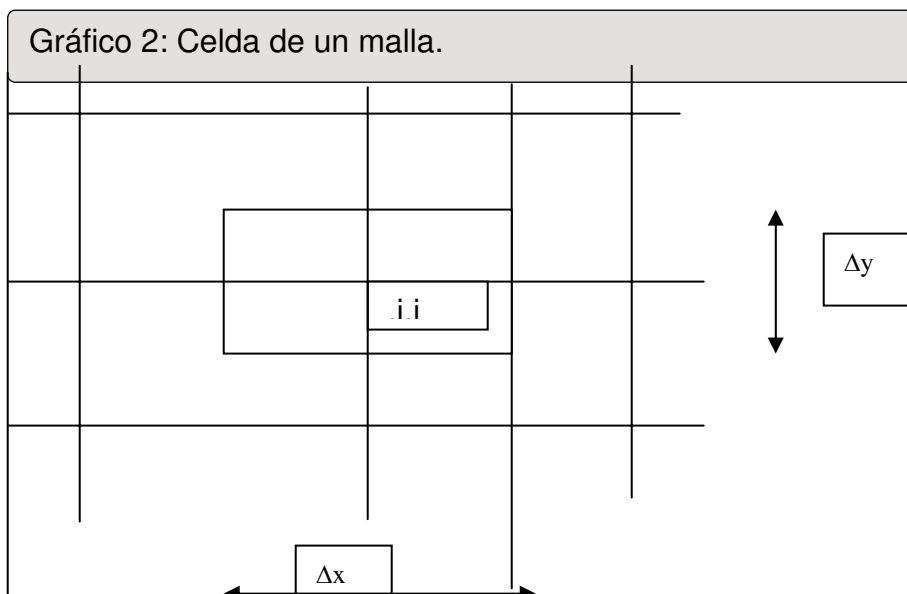
celdas, la solución será exacta. La intercepción de las líneas de flujo de la malla es llamada nodo y se referencian (i) para las columnas (j) para las filas, son co – lineales a las direcciones x, y respectivamente (véase grafico 1). El programa Flowpath utiliza el esquema de diferencias finitas de bloques centrados y pueden variar uno a otro.

3.5.1 Definición y dimensiones de un bloque típico:



3.5.2 Definición de celda

La definición y dimensiones del bloque considerado en un nodo son:



3.5.3 Acuíferos no confinados

Para acuíferos no confinados el espesor saturado $b_{i,j}$ es función de la carga hidráulica. Ambas, cargas hidráulicas y espesor de saturación son incógnitas. Matemáticamente el comportamiento del sistema no es lineal. Se requiere de un supuesto inicial para el espesor saturado a fin de estimar la transmisividad del acuífero $(T_{xx})_{i,j}$ y $(T_{yy})_{i,j}$.

El modelo utiliza métodos iterativos, para el cálculo de la carga hidráulica como: IADI (Iterative alternative direction implicit solver) CGSTAB –P (Conjugate gradient stabilized solver). Las transmisibilidades direccionales entre nodos adyacentes $(T_{xx})_{i+1/2,j}$ $(T_{yy})_{i,j+1/2}$ se calculan multiplicando los promedios armónicos de conductividades hidráulicas por promedios geométricos del espesor saturado (Butler, 1957).

$$T_{xx_{i+1/2,j}} = K_{xx_{i+1/2,j}} \sqrt{(h_{i+1,j} - BT_{i+1,j})(h_{i,j} - BT_{i,j})}$$

$$T_{yy_{i,j+1/2}} = K_{yy_{i,j+1/2}} \sqrt{(h_{i,j+1} - BT_{i,j+1})(h_{i,j} - BT_{i,j})}$$

Donde $BT_{i,j}$ = elevación del basamento del acuífero en el nodo i,j .

$$K_{xx\ i+1/2\ j} = \frac{(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i+1,j}) K_{xx\ i+1,j} K_{xx\ i,j}}{K_{xx\ i+1,j} \Delta x_{i+1,j} + K_{xx\ i,j} \Delta x_{i,j}}$$

$$K_{yy\ i,j+1/2} = \frac{(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j+1}) K_{yy\ i,j+1} K_{yy\ i,j}}{K_{yy\ i,j+1} \Delta y_{i,j+1} + K_{yy\ i,j} \Delta y_{i,j}}$$

$(K_{xx})_{i+1/2\ j}$, $(K_{yy})_{i,j+1/2}$ = conductividades hidráulicas entre bloques i,j e i+1,j;
y bloques i,j e i,j+1

3.6 Consecuencias de sobre explotar las aguas subterráneas

Para aumentar el suministro de agua potable de calidad, los seres humanos acuden cada vez más a las aguas freáticas, y los progresos en la tecnología de perforación y bombeo lo hacen fácil y económico. Al extraer las aguas subterráneas se explota una reserva grande pero no ilimitada. En última instancia, su sostenibilidad depende de equilibrar el ritmo de extracción con el de recuperación.

En algunas regiones áridas, los mantos freáticos son de agua acumulada hace miles de años, cuando el clima del lugar era más húmedo, de modo que la tasa de recuperación es cero. Con frecuencia se dice que la costumbre de explotar estas bolsas de agua antigua es “excavar agua fósil”, para subrayar que el recurso acabará por agotarse cualquiera que sea el ritmo de extracción.

3.6.1 Disminución y agotamiento de las capas freáticas:

Aún dejando de lado las tasas de recuperación, el fenómeno común en todo el mundo de la disminución de los niveles freáticos es un indicio simple de que la extracción de agua subterránea excede a la recarga.

El final obvio de sobre explotar es su agotamiento, pero la disminución de los niveles freáticos tiene otras consecuencias antes de que el líquido se agote por completo. Examinemos algunas.

- a) Disminución de las aguas superficiales. Las aguas superficiales también sufren reducción de los niveles freáticos. Por ejemplo, en muchos estanques el nivel de las aguas se encuentran al ras del suelo o ligeramente por encima, y acortarlo da por resultado que los estanques se sequen, con las secuelas que ya conocemos. Más aún si bajan los niveles freáticos, los manantiales y las fuentes se agotan, con lo que las corrientes fluviales menguan al grado de secarse. Así la extracción de aguas freáticas tiene los mismos efectos que el desvío de las aguas superficiales.
- b) Hundimiento del suelo. Con el paso del tiempo, las aguas freáticas han abierto cavidades en la corteza terrestre. Si están llenas de agua éstas sostiene los estratos rocosos y el suelo; pero si se extrae, falta ese apoyo y llega a suceder un gradual asentamiento de las tierras un fenómeno conocido como hundimiento del suelo.
- c) Intrusión salina: En las zonas costeras, los desagües de las corrientes freáticas llegan a ocurrir bajo el océano, y en tanto que los niveles freáticos, produzcan suficiente presión dentro del manto, habrá un flujo de agua dulce al mar, por eso los pozos cerca de los océanos dan agua dulce. Pero una disminución del nivel freático o una extracción demasiado apresurada de aguas subterráneas reduce la presión del manto y permite que el agua salina penetre en él y en los pozos.

En los acuíferos costeros, que limitan en sus bordes exteriores con el agua del mar, esta relación condiciona su comportamiento. Con la recarga de agua dulce en los acuíferos, existe un flujo de agua dulce que contacta con el agua del mar. Se produce entonces un equilibrio entre el agua dulce y el agua salada. Si se altera el flujo de agua dulce, el equilibrio se altera, desplazándose hacia uno u otro lado, es decir, invadiendo el acuífero o la zona marina. La intrusión marina es entonces el aumento de salinidad en las aguas subterráneas provocado por la acción del hombre, desplazando hacia el continente el agua salada, lo que provoca la invasión del espacio que ocupaba el agua dulce.

El origen de la salinidad de las aguas procede de diversas fuentes. La primera es la mezcla con aguas salinas, como las salmueras, las aguas connatas (están presentes desde la formación del acuífero), las aguas fósiles (son de tiempos pretéritos), las aguas volcánicas (proceden del interior de la tierra y poseen una elevada temperatura y alto contenido salino) y las aguas termales (están en grandes profundidades y también poseen un alto contenido salino). Otra fuente de la salinidad de las aguas es la disolución de sales por el contacto entre agua y rocas. En las rocas poco permeables hay un mayor contenido salino, debido a que el agua tiene una mayor residencia en su contacto con la roca.

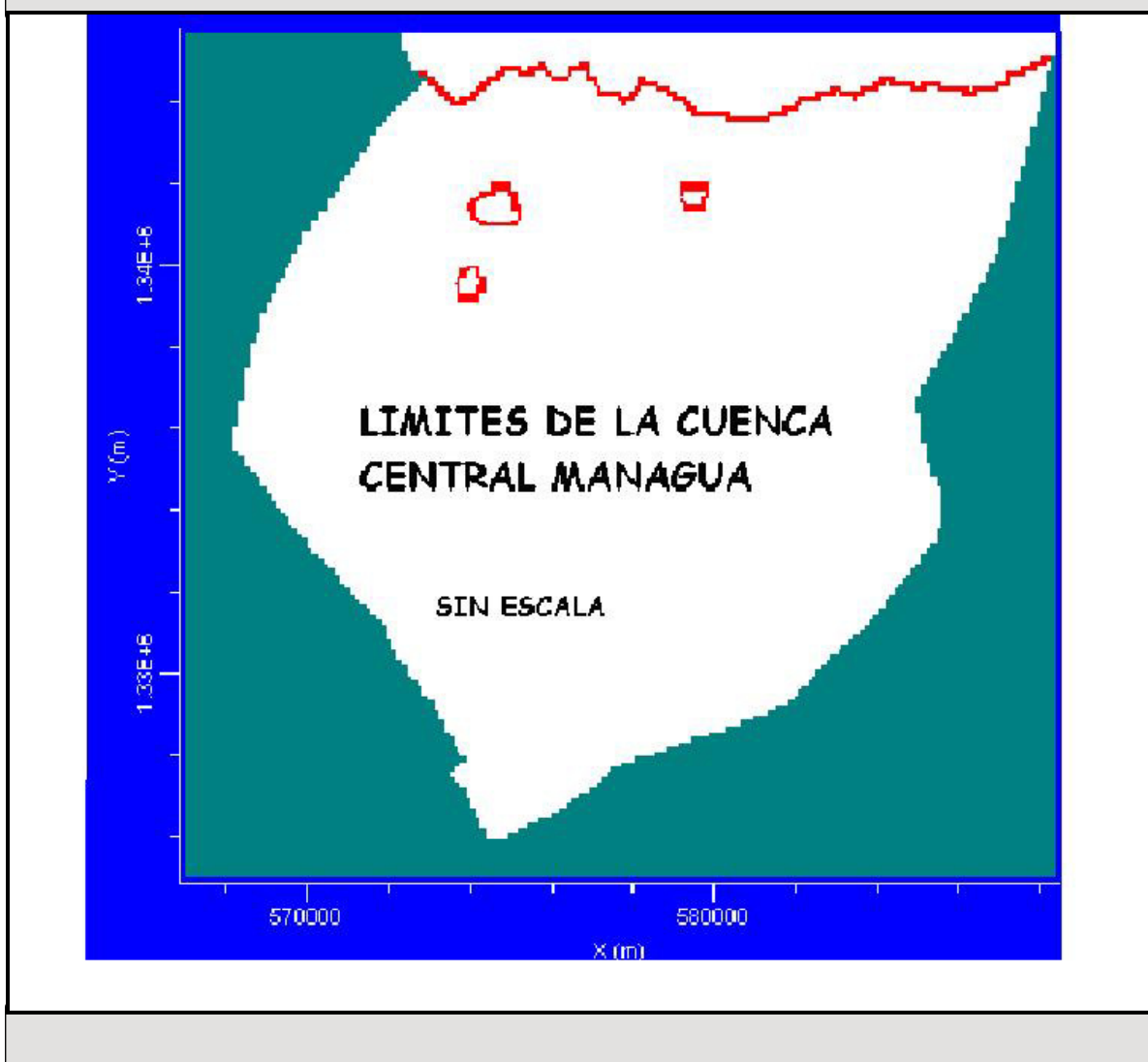
.
La acción del hombre, que puede ser directa, como los bombeos o la explotación de los acuíferos, o indirecta, como el aumento del agua de riego, las mejoras en la infiltración del agua o la recarga artificial de los acuíferos. Durante el proceso de intrusión salina hay una mezcla entre agua dulce y agua salada y una serie de relaciones de dispersión y difusión que alteran esta mezcla. Por lo que respecta a la gestión de la intrusión marina, se usa la redistribución de los bombeos, la recarga artificial o la construcción de barreras.

Capitulo 4: Modelo hidrogeológico conceptual de la cuenca central de Managua

4.7 Mapa Hidrogeológico

La sub cuenca Central del acuífero de Managua localizada entre las coordenadas $86^{\circ}08'$ y $86^{\circ}22'$ de longitud oeste y $11^{\circ}57'$ y $12^{\circ}11'$ de latitud norte (véase figura 6), con un área aproximada de 177 Km^2 , aunque el área total localizada corresponde a 105 Km^2 . (La diferencia se considera área inactiva dentro del modelo, es decir es el parte del área pero fuera del parte aguas de la cuenca)

Figura 6: Limites de la cuenca central de Managua



La estratigrafía corresponde a estratos de edad geológica terciarios y cuaternarios Plio, Pleistoceno y Pleistoceno, con unidades rocosas correspondientes fundamentalmente a los grupos (véase Tabla 1).

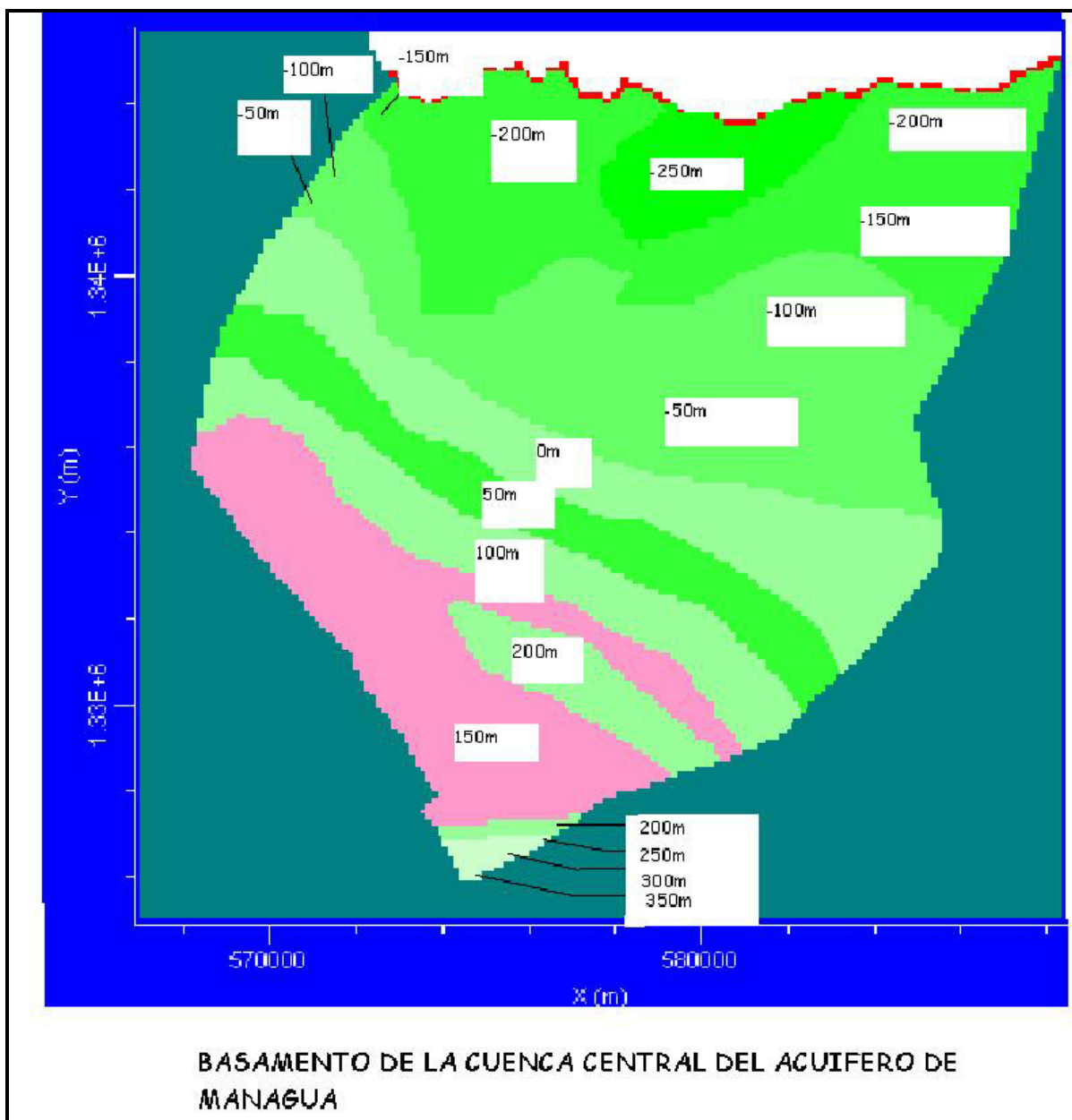
Tabla 1: Identificación de la unidad geológica.			
Edad geológica	Nombre de la unidad Roca geológica	Identificación	Litología
Cuaternarios	Aluvio	$Q_a I$	Sedimentos de arena y arcilla piroclástico, depósitos de escombros
	Volcánicos Holocénicos	$Q_v H$	Flujos piroclásticos y depósitos piroclásticos caídos
Terciarios	Volcánicos Pleistocénicos	$Q_v P$	Depósitos piroclásticos caídos con flujos piroclásticos y lavas
	Grupo Superior Las Sierras.	$TQ_{ps} (S)$	Aglomerados basálticos – Andesíticos, toba brecha, toba, suelo fósil, arena y limo tobáceo.
	Grupo medio Las Sierras	$TQ_{ps} (M)$	Aglomerado basáltico – andesítico, compacto, brecha tobácea, toba, flujo piroclástico.

4.8 Descripción del acuífero:

El acuífero fue definido como un acuífero libre, no confinado, es decir presenta un fondo cuya elevación está desde los 300 msnm hasta descender a -250 msnm, la parte alta corresponde a la divisoria del agua subterránea (carretera del Crucero) y la parte baja a la costa sur del Lago de Managua (véase figura 7), se encuentra a presión atmosférica y carece de techo.

El acuífero se considera isotrópico es decir la permeabilidad es igual en las direcciones X e Y para un mismo punto, sin embargo es heterogéneo puesto que de un punto al otro el valor de permeabilidad varia en dependencia de la formación rocosa.

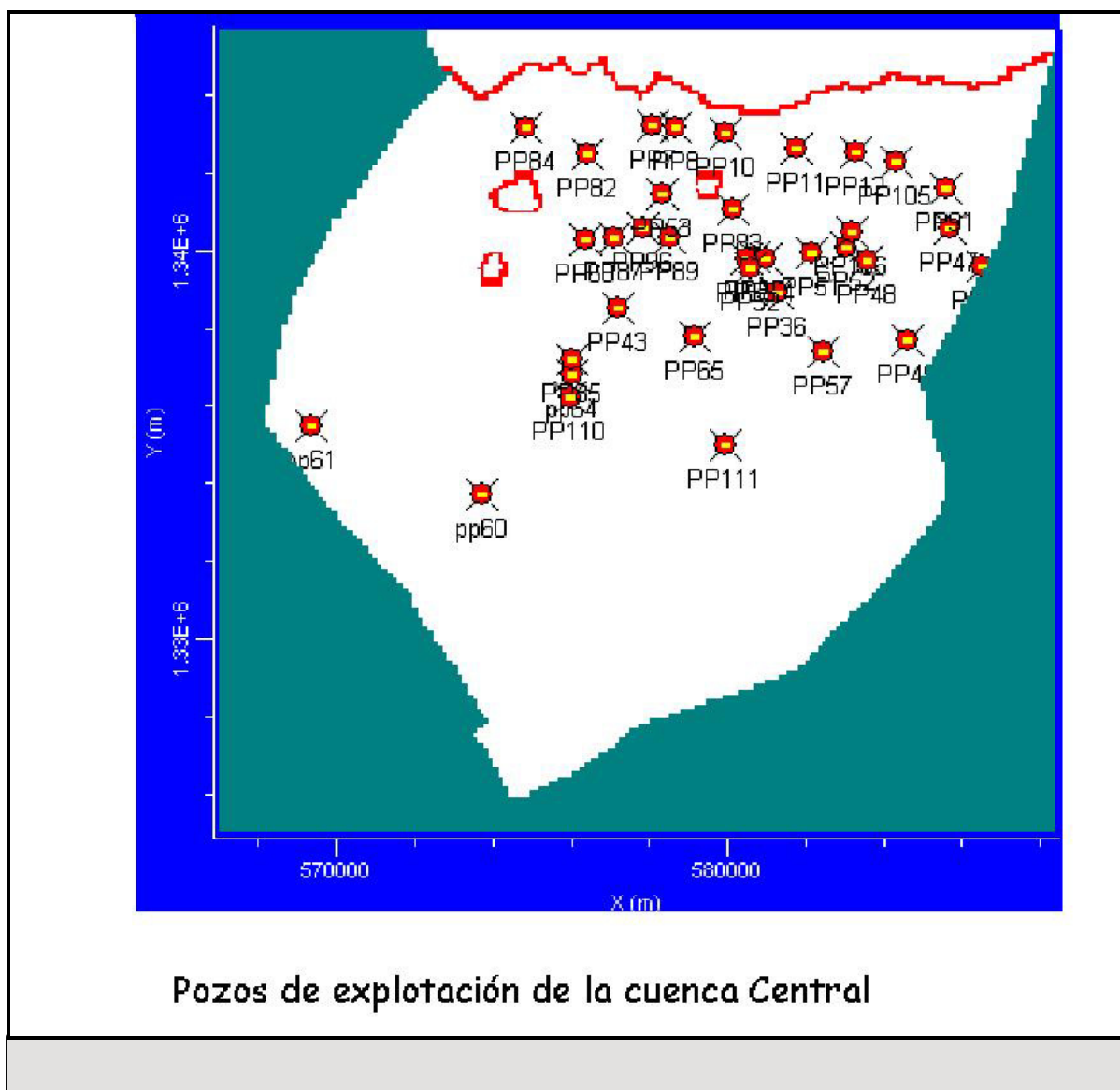
Figura 7: Basamento de la cuenca central del acuífero de Managua



4.9 Caudales de bombeo

Se ubicaron geo referenciados un total de 32 pozos de extracción que son los administrados por ENACAL con explotación que van desde 405.31 m³/día hasta 8490.88 m³/día (véase figura 8), cuyas elevaciones van desde 38 m hasta 110 m.

Figura 8: Pozos de explotación de la cuenca central administrados por ENACAL



4.10 Fronteras y factores externos

Fronteras de no flujo: Son aquellas zonas donde no existe flujo de agua subterránea (Zonas impermeable) corresponde a la divisoria del agua subterránea (carretera Managua - El Crucero), después de las fallas se considera zona de no flujo (véase figura 6).

Frontera de flujo específico: Este no se considera debido a que hay coincidencia en el parte aguas entre la cuenca de aguas subterráneas y la cuenca topográfica.

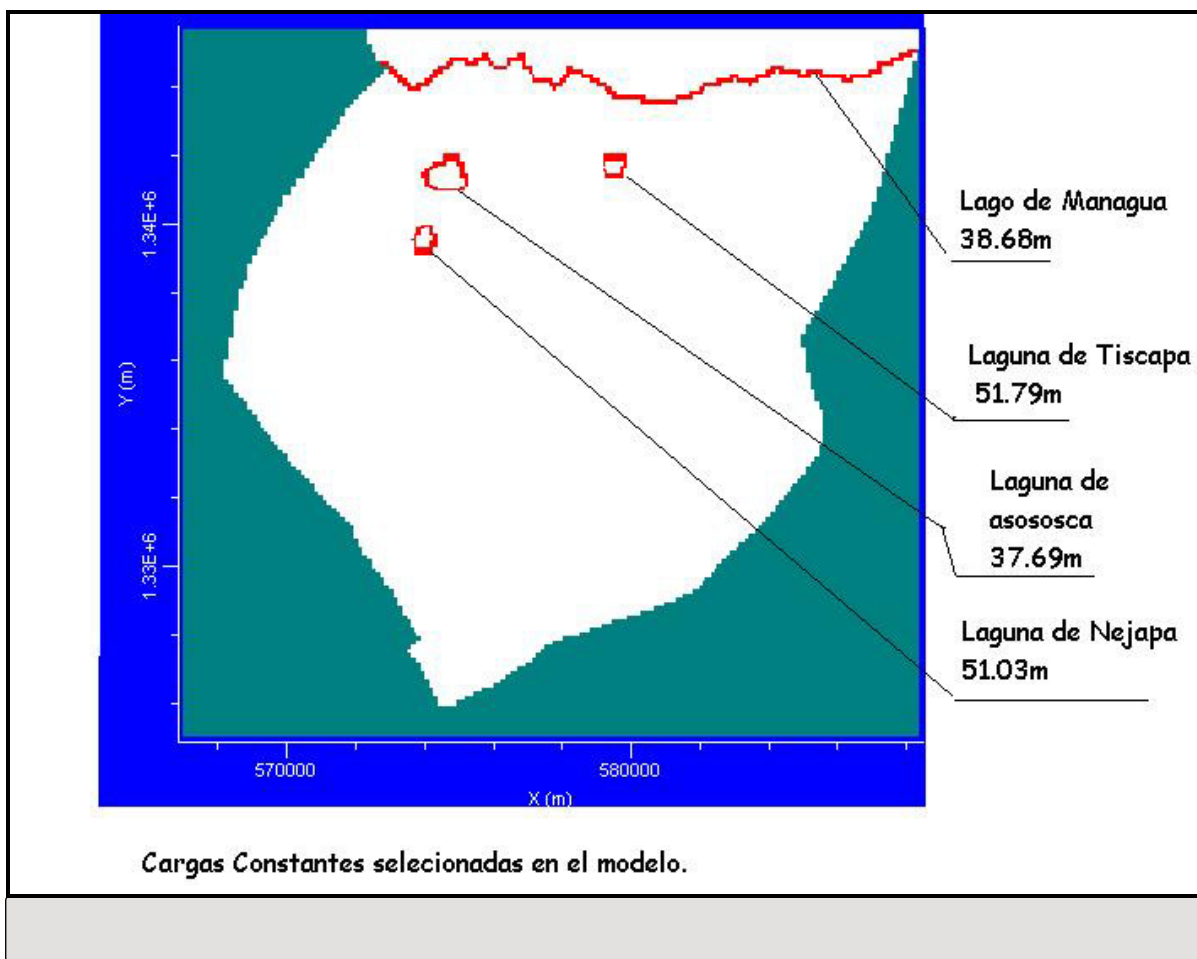
Cargas constantes: se consideran cargas constantes aquellas cuyos niveles de aguas son decisivas e influyen en el comportamiento del agua subterránea y de ellas podemos destacar (véase tabla 2).

Tabla 2: Carga constantes Consideradas en el modelo.

Cuerpo	Nivel del espejo de agua
Lago de Managua	38.68 m.s.n.m
Laguna de Asososca	37.69 m.s.n.m
Laguna de Tiscapa	51.79 m.s.n.m
Laguna de Nejapa	51.03 m.s.n.m

Las lagunas se modelaron considerándolas con cargas constantes en el contorno (véase figura 9).

Figura 9: Cargas constantes promedios seleccionadas en el modelo



4.11 Recarga

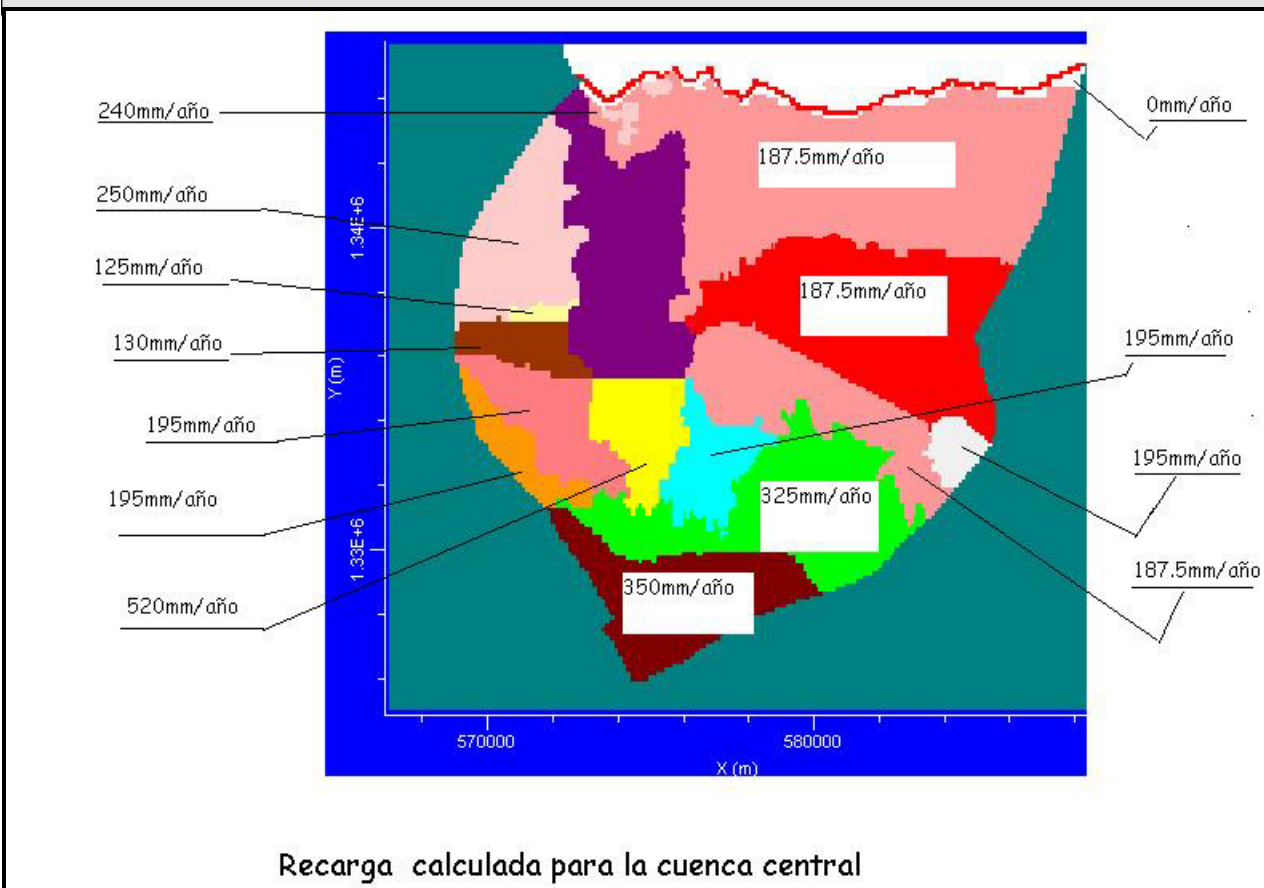
Distribución de la precipitación: Se tomó en consideración el plano de isoyetas y se distribuyeron tributariamente de acuerdo al área localizada entre dos curvas, la cuenca está considerada entre los valores de 1250 mm, 1300 mm y 1400 mm en la parte alta de El Crucero.

Coeficientes de recarga: Los porcentajes para determinar la recarga se relacionaron de acuerdo a la unidad rocosa geológica (véase tabla 3) y los valores y zonas de recarga (véase figura 10).

Tabla 3: Coeficientes de recarga.

Edad geológica	Nombre de la unidad Rocosa geológica	Identificación	Coeficiente de Recarga (%)
Cuaternarios	Aluvio	$Q_a I$	20
	Volcánicos Holocénicos	$Q_v H$	40
Terciarios	Volcánicos Pleistocénicos	$Q_v P$	Sup. Llana:25 Sup. Inclínada:15
	Grupo Superior Las Sierras.	$TQ_{ps} (S)$	Sup. Llana: 15 Sup. Inclínada:10
	Grupo medio Las Sierras	$TQ_{ps} (M)$	Sup. Llana: 15 Sup. Inclínada:10
Fuente: Informe JICA, 1993			

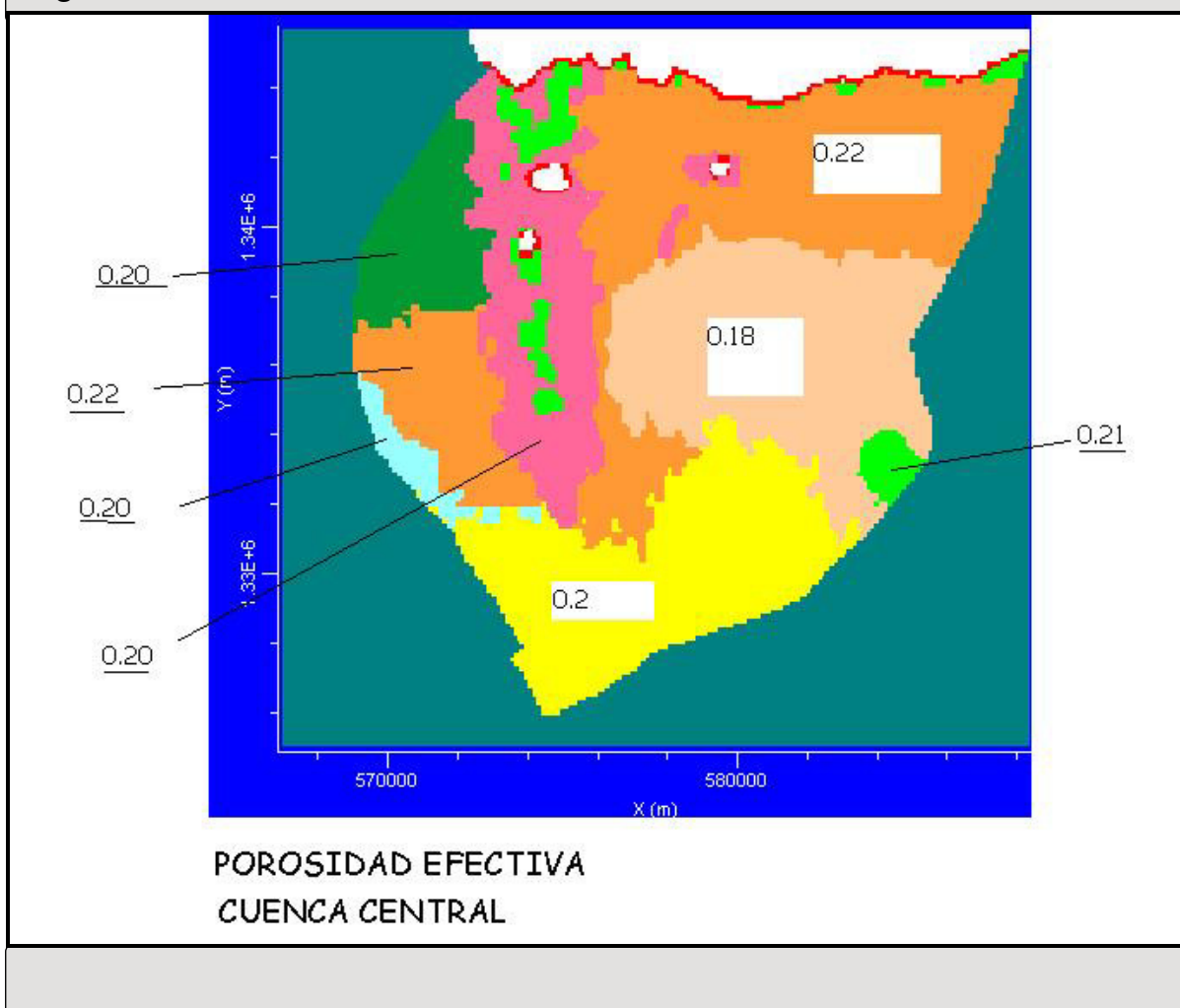
Figura 10: Recarga calculada para la cuenca central.



4.12 Porosidad

Tomando en cuenta que es un acuífero libre donde el coeficiente de almacenamiento coincide o es igual al rendimiento específico que se aproxima a la porosidad efectiva, su valor suele oscilar entre 0.01 y 0.40, siendo el intervalo más frecuente de 0.15 a 0.20* (Recomendación de todos los autores, véase figura 11).

Figura 11: Porosidad efectiva cuenca central.



* Es una unidad adimensional

4.13 Conductividad hidráulica (k)

Los valores de conductividad hidráulica del acuífero se tomaron los rangos recomendados por David Norman Bethune(1991), Informe JICA (1993), MARENA(2000), Enacal (2000), N. FENZL(1989), y Oscar Cruz (1997), con un rango que oscila entre 0.04-400 m/día. (Con este parámetro se calibra el modelo).(ver anexos1,2 y 3)

Capítulo 5: Análisis de la información tomada en cuenta en la conceptualización del modelo

5.1 Transmisibilidad (t) y conductividad hidráulica (k) de la cuenca central de Managua.

La información existente alrededor de estos dos parámetros hidráulicos no son valores terminados puesto que siempre se parte de los resultados de cada estudio (ver anexos 1, 2 y 3) hasta el momento no se dan valores definitivos, al respecto de estos mostramos los propuestos para la cuenca central:

5.1.1 En el estudio “Balance Hidrogeológico de la Laguna de Asososca” realizado por la Universidad Autónoma de Nicaragua en 1989, la transmisibilidad de esta área fue calculada como :

2.400 - 6.600 m²/día.

5.1.2 Según N Fentz (1989), de acuerdo a las unidades geológicas, tomando en cuenta que en la cuenca central predominan:

La formación Sierra Medio, clasifica la transmisibilidad como alta - media cubriendo rangos mayores de 1000 m²/día y entre 1000 m²/día y 500 m²/día. La clasificación propuesta para conductividad es de buena con un rango de entre 8.64×10^5 y 8.64×10^6 m/día.

Para la formación aluvial propone un rango de transmisibilidad media a baja cubriendo rangos de 1000 y 500 m²/día y menor de 500 m²/día y define la permeabilidad variable.

Para los depósitos volcánicos piroclástica clasifica la transmisibilidad como alta que corresponde a valores mayores de 1000 m²/día, y la conductividad hidráulica la clasifica como excelente con un rango de valores de entre 8.64×10^6 y 8.64×10^9 m/ día.

- 5.1.3 En el estudio “Estudios de Campo y Modelaje de la Contaminación de Las Aguas Subterráneas de la Laguna de Asososca” realizado por Norman Bethune en 1991, la conductividad fue de: 0.07- 4.0 m/día en la zona montañosa y de 10 - 400 m/día en zonas bajas.
- 5.1.4 El informe JICA, (4 - 139) realizado en 1991, calcula un valor total de transmisibilidad para la sub área central de 425 m²/día, también propone un valor de 509 m²/día para el área Asososca -Ticomo y 391 m²/día para el área central Managua.
- 5.1.5 En la publicación del INETER: “Estudio Hidrogeológico e Hidroquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua”, resultado de los mapeos se propone para Managua una transmisibilidad de 20 m²/día (1998).
- 5.1.6 En la tesis “Modelaje del Acuífero Managua y su Rendimiento Sostenible”, (Oscar Antonio Cruz Meléndez, 1997) tomando la información que corresponde a la cuenca central se dan como resultado valores de conductividad de acuerdo a los gráficos obtenidos que andan entre menores que 1 m/d hasta 10 m/d. (véase anexo 1).
- 5.1.7 Desde el punto de vista teórico se tomaron en cuenta los valores de conductividad recomendados por algunos autores siendo los más relevantes los siguientes:
- 5.1.7.1.1 Para materiales granulares relativamente homogéneos y para temperaturas del orden de 20°C, Silin- Bekchurin (en Harr, 1928 pág 8) da los valores siguientes (véase tabla 4).

Tabla 4: Materiales	
Material	K (m/día)
Grava limpia	>1000
Arena gruesa limpia	1000 a 10
Mezcla de arena	10 a 5
Arena fina	5 a 1
Arena limosa	2 a 0.1
Limo	0.5 a 0.001
Arcilla	<0.001

5.1.7.1.2 Otro autor presenta los siguientes valores:

Tabla 5: Materiales	
Material	K (gpd/ft ² *)
Arcilla	1
Arenas	800
Gravas	5000
Gravas y arenas	2000
Areniscas	700
Material calcáreo denso	1
Cuarzo, granito	0.1

5.1.8 En el estudio “Vulnerabilidad Hidrogeológica” realizado por el Proyecto Suwar – MARENA (véase anexo 2), se proponen los siguientes rangos de conductividades hidráulicas:

* gpd/ft² = galones por día/ft²

Tabla 6: Zona y rango

Zona	Rango (m/día)
1	0.04 - 4
2	4 - 12
3	12 - 28
4	28 - 40
5	40 - 80

5.1.9 Tomando en cuenta los pozos de bombeo que actualmente se explotan en la cuenca central, se muestran en la tabla los cálculos de transmisibilidades para pozos comunes en tres estudios en base a pruebas de bombeo (véase tabla 7).

Tabla 7: Tabla comparativa de transmisibilidades para diferentes estudios

N	Nombre	Coordenadas		T(m²/día)	T(m²/día)	T(m²/día)
		x	y	JICA	O.Cruz	P.Estud.
PP7	Estadio	1343,2	578,08	360	273	
PP8	San Antonio	1343,2	578,69	378	372,5	407
PP38	Colonia.C. América	1338,6	581,65	67		22
PP63	Hosp.Bertha Calderon.	1340,3	576,39	345	335	127
PP85	Sierra Maestra	1337,2	576,01	524	372,6	683
PP11	Tenderi	1342,6	581,76	253	248,4	
PP51	Hosp.Manolo Morales.	1339,9	582,14	528	621	
PP34	Pancasan N.4	1339,8	580,96	706		942

*P. Estud: Presente estudio

5.2 Recarga

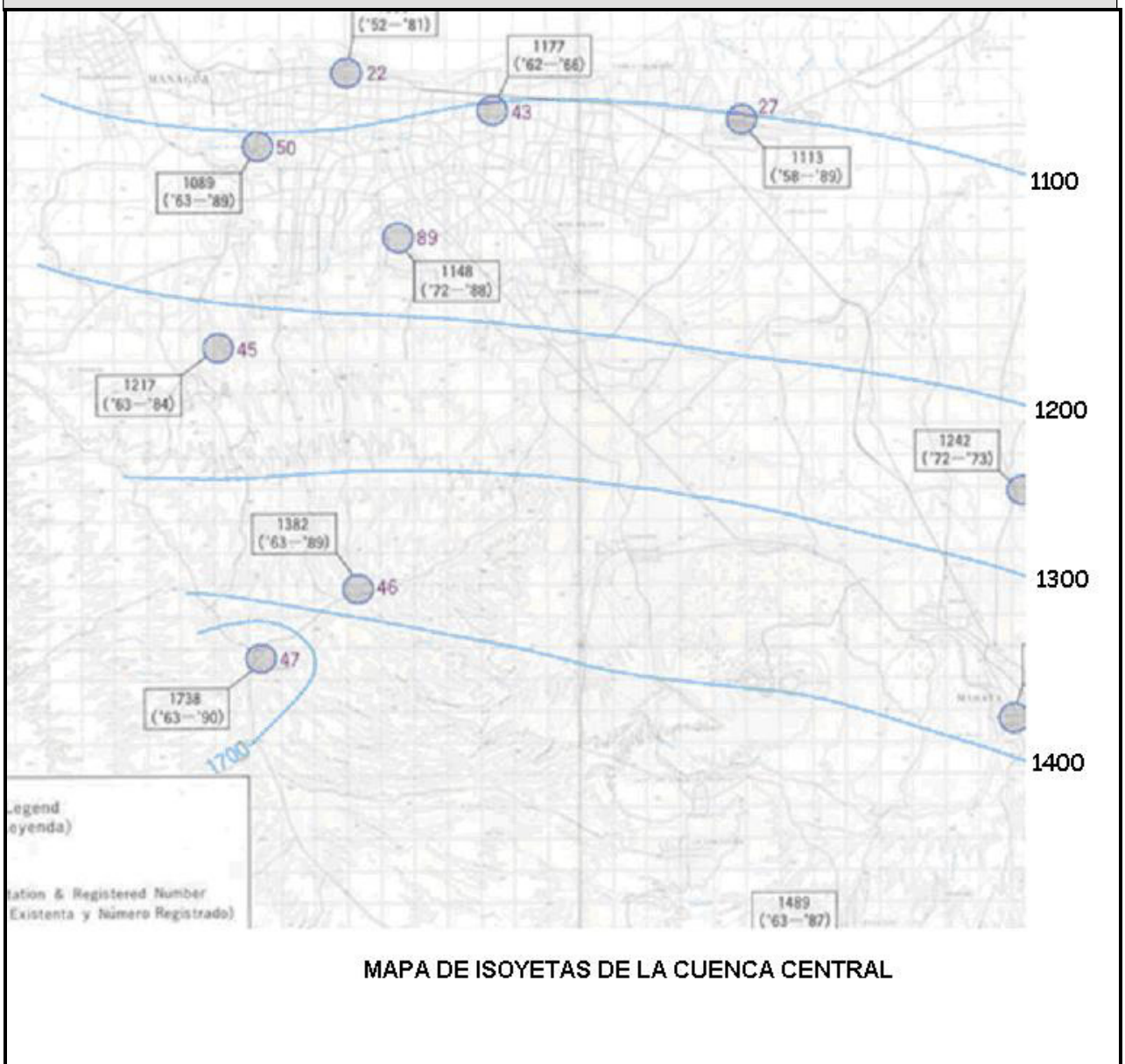
Para determinar la recarga se tomó en cuenta la información que hasta el momento se tiene, la que presenta poca dispersión, los porcentajes propuestos en los diferentes estudios tienen como media 20.21% (Bethune, Hazen, Naciones Unidas, Informe JICA) descartando el valor cero, considerando como extremos 5% y 40%, El coeficiente de variación de la información tratada es del 29% esto nos permite establecer que la información está muy centrada alrededor de la media dentro del rango considerado.

Considerando que hasta el momento el único informe que lo asocia a la unidad rocosa es el JICA tomamos los coeficientes de recarga recomendado por ellos, puesto que presenta la misma calidad de información y considera las pendientes del suelo (véase tabla 3).

Para el cálculo de la recarga se consideró la información contenida en el mapa de isoyetas de la cuenca que tiene valores que van desde 1250 mm / año hasta valores de 1400 mm/año (Presentado en el informe JICA), es decir se tributo el área de cada isoyeta y se multiplicó por el coeficiente de recarga.

Se tomó el valor del coeficiente para superficies llanas, en todos los casos donde se diferencia entre superficies llanas e inclinadas (véase figura 13).

Figura 13: Mapa de isoyetas de la cuenca central.



Fuente: Informe JICA

5.2.1 Cálculo de la recarga usando el mapa de isoyetas y el coeficiente de recarga
(Véase tabla 8).

Tabla 8: Coeficiente de carga y valor de recarga.

Identificación de la unidad rocosa	Valor de la isoyeta a tributar(mm)	Coeficiente de recarga (%)	Valor de la recarga(mm)
Q _a I	1400	20	280
	1300	20	260
	1250	20	250
Q _v H	1400	40	560
	1300	40	520
	1250	40	500
Q _v P	1400	25	350
	1300	25	325
	1250	25	312.5
TQ _{ps} (S)	1400	15	210
	1300	15	195
	1250	15	187.5
TQ _{ps} (M)	1400	15	210
	1300	15	195
	1250	15	187.5

5.2.2 Precipitaciones anuales acumuladas en las estaciones localizadas en la cuenca central del acuífero de Managua.
(Véase tabla 9).

Tabla 9: Precipitaciones promedios anuales.(2000)	
Nombre de la estación	Precipitación acumulada (mm)
Ciudad Sandino	1957.28333
Asososca	1505.9
INE BY PASS	1169.86667
Altamira	1548.9
San Cristóbal	1587.2
San Judas	1433
Tórrez Molina	1423
Villa Panamá	1437.2
Las Brisas	1772.4
Km 11 y 1/2 c. sur	1597
UNAN -Managua	1614
San Antonio	1781.8
Mercado Oriental	2148
Rafaela Herrera	2075.3
Colonia 14 de Sep.	1692.5
Villa Libertad	1728.9
Rpto. Shick	1970.3
Km 11 y 1/2 c. Masaya	1821
Carlos Fonseca	1633.4
Sabana Grande	1519
Villa Austria	1489.6
Fuente: Dirección de meteorología - INETER	

5.3 Extracción del acuífero

Para la extracción fueron considerados 32 pozos administrados por el ENACAL geo-referenciados en el modelo cuya variación en la explotación es extrema presentando un coeficiente de variación de 76% en la explotación lo que es fácil observar (véase grafico 3) ya que el pozo pp84 presenta el caudal máximo con un valor de 8490 m³/día, localizado en Las Brisas , en cambio el caudal Mínimo corresponde al pozo pp111 con un valor de 405.31 m³/día (Combatiente Desconocido), el caudal medio corresponde a un valor de 3396.14 m³/día, como puede observarse no hay un comportamiento de explotación centrado alrededor del caudal medio (112072.5m³/día). (ver anexos:5,6,7,8 y 9)

Si se toma en cuenta el caudal total diario extraído a través de estos pozos corresponde a 112072.5233 m³/día, esta es la explotación controlada por el INAA, sin embargo la extracción privada la cual también es significativa , no se pudo montar en el modelo debido a la carencia de base de datos en lo referido a la localización (geo referencia) así como de los caudales que actualmente explotan, sin embargo tomando en cuenta la información contenido en el informe JICA, se hace un registro de 75 empresas que tenían pozos la explotación era de 18563.63 m³/ día, la que representaba el 15% (Informe JICA), en aquel se usó la encuesta como forma de extracción de la información, si se toma en cuenta la extracción total considerando la implementación de reducción del agua en los procesos industriales , se puede decir que se le extra un total de 130,636.2 m³/día (véase tabla 10, véase gráfico 4).

Tabla 10: Pozos ubicados en la cuenca central de Managua hasta (1970-1999).

Número	Nombre	Coordenadas		Nivel estático(m)	Elevación (m)	Caudal (m ³ /día)
		x	Y			
PP7	Estadio	1343.21	578.08	30.06	38	6843.28
PP8	San Antonio	1343.15	578.69	24.21	37.79	4544.27
PP12	Bello Horizonte	1342.55	583.26	36.58	40.96	5930.94
PP32	Altamira # 2	1339.53	580.59	72.15	81.8	681.3
PP33	Altamira #3	1339.79	580.5	91.41	54.76	1767.59
PP36	CCA # 1	1338.92	581.28	102.92	58.81	2130.95
PP43	San Judas # 1	1338.51	577.18	162.7	51.27	2866.69
PP46	Villa Libertad	1339.6	586.54	79.13	54.87	1905.82
PP48	C. 14 de Septiembre	1339.74	583.58	85.13	55.13	2165.79
PP53	Parque Las Madres	1341.48	578.34	63.12	40	4177.98
PP57	Km8 Car. Masaya	1337.37	582.44	120.87	99.14	628.31
PP63	Hosp. B. Calderón	1340.28	576.39	107.93	39.23	2647.90
PP65	UNAN	1337.76	579.18	152.16	62.28	2077.10
PP82	Mons. Lezcano	1342.49	576.4	52.49	40.34	7251.63
PP83	Plaza el Sol	1341.08	580.16	56.71	45.4	5808.32
PP84	Las Brisas	1343.18	574.86	25.61	38.5	8490.88
PP85	Sierra Maestra	1337.19	576.01	198.5	64	3044.15
PP87	Julio Martínez	1340.31	577.1	105.77	40	5444.12
PP89	INE Central	1340.32	578.54	68.47	50.12	4136.36
PP91	Laureano Mairena	1341.6	585.58	52.77	45.12	1826.56
PP105	Rafaela Herrera	1342.31	584.3	42.17	40.73	6171.67
PP106	Nicarao # 3	1340.47	583.2	69.05	53.29	2312.79
PP110	Torrez Molina	1336.2	575.95	207.92	60.08	2176.53
PP111	Com. Desconocido	1334.98	579.93	307.92	70.07	405.31
PP10	Merc. Oriental	1343.04	579.95	21.23	37.27	3944.73
PP11	Tenderi	1342.63	581.76	29.25	39.75	4086.81
PP47	Villa Venezuela	1340.57	585.68	66.92	48.28	1063.58
PP51	Hosp.M. Morales	1339.94	582.14	69.07	58	3142.61
PP52	La Mascota	1340.08	583.04	68.9	60	4029.89
PP96	René Cisneros	1340.6	577.85	91.66	38.34	2200.14
PP34	Pancasan # 4	1339.77	580.96	81.99	64.01	3408.32
PP35	Pancasan # 5	1339.84	580.7	77.95	69.55	1825.88
PP49	v. Cuba,Shick # 2	1337.68	584.6	134.96	76.54	2934.30

Fuente: Departamento de explotación ENACAL – INAA.

Gráfico No. 3. Comportamiento de los caudales de explotación de la cuenca Central de Managua

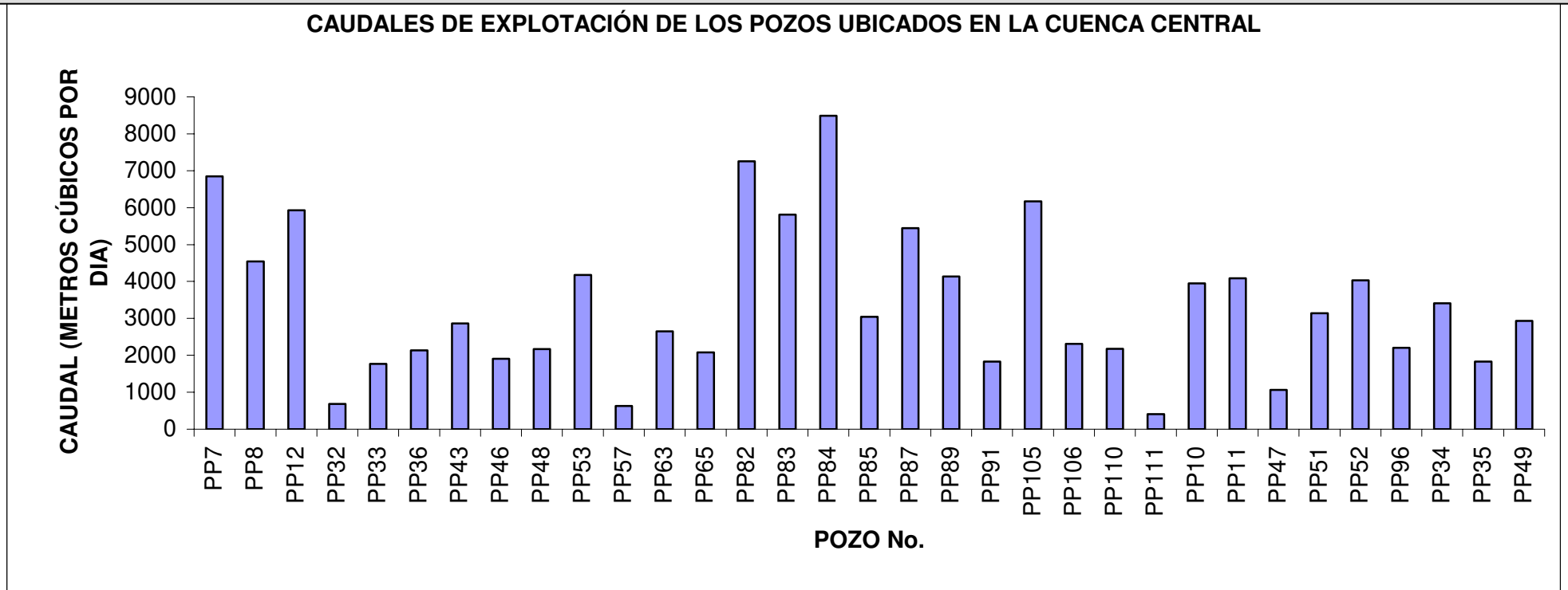
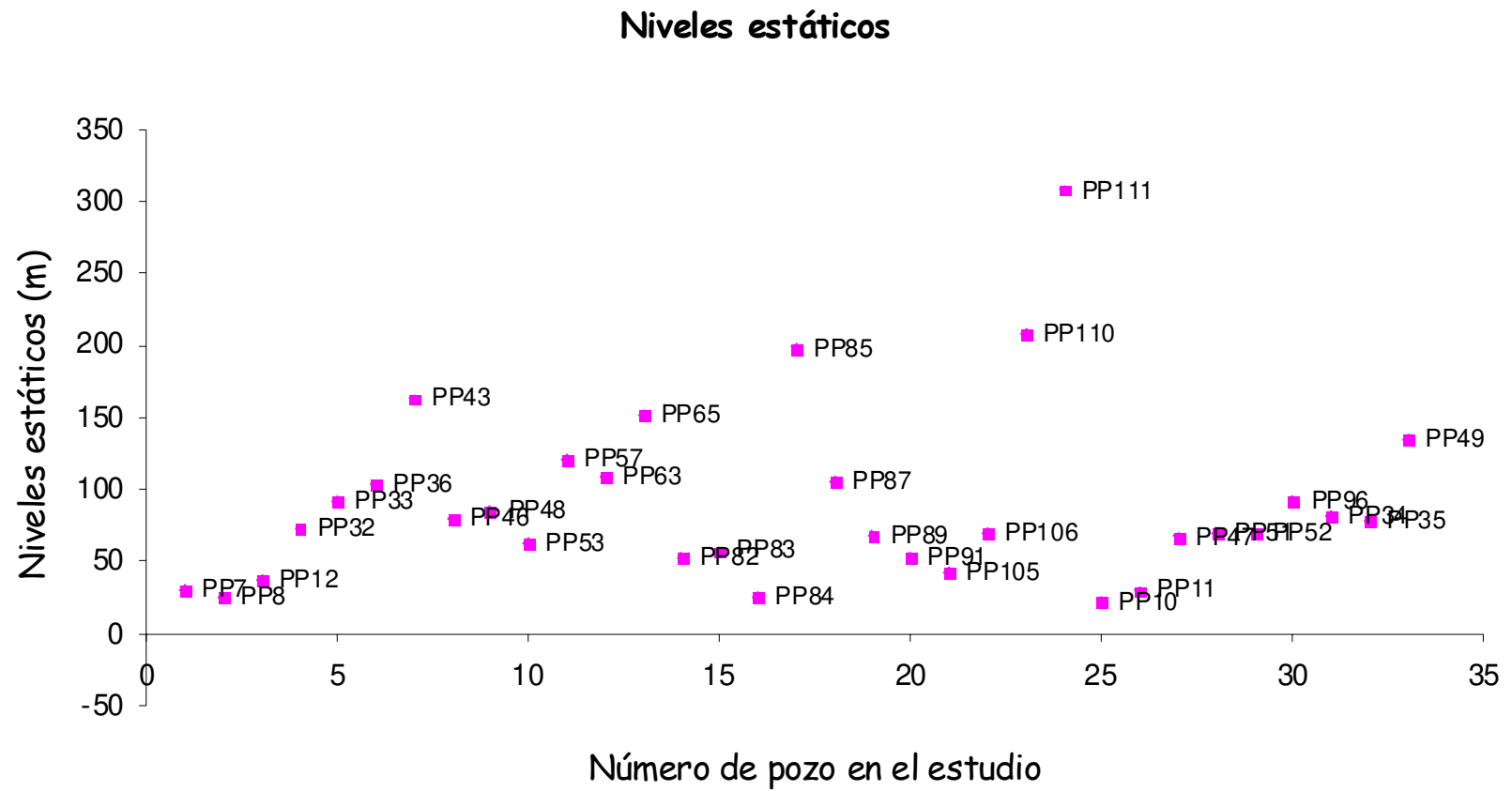


Gráfico 4: Niveles estáticos de los pozos localizados en la cuenca central de Managua.



5.4 Porosidad

Teóricamente el término porosidad efectiva tiene un significado igual a rendimiento específico. El rendimiento específico varía desde 0 para las arcillas, hasta 30% para las arenas y gravas uniformes. La mayoría de los acuíferos libres tienen rendimientos específicos entre 10% y 20%.

Los valores utilizados en el modelo están muy ajustados a las diversas fuentes existentes en el país dentro de ellas destacamos los siguientes:

- 5.4.1 Según Hazen & Sawyer (1964), Tecnoplan (1981), Proconsult, (1982), el rendimiento específico aceptado para diferentes rocas, estimado a partir del material reportado en las columnas litológicas de los pozos (véase tabla 11).

Tabla 11: Rendimiento específico para diferentes rocas

Tipo de roca	Rendimiento Específico (%)
Arcilla	3
Arcilla Limosa	5
Limo	10
Limo Arenoso	12
Arena Limosa	14
Arena Fina	26
Arena Media	27
Arena Gruesa	28
Arena Cementada	13
Arena y Grava	24
Grava Fina	24
Grava Media	23
Grava Gruesa	21

5.4.2 A continuación mostramos un cuadro que relaciona la porosidad efectiva y la permeabilidad para algunos materiales (Kozeny, 1954).

Tabla 12: Porosidad efectiva y permeabilidad.

Material	Porosidad efectiva	Permeabilidad	
		(cm/s)	(m/d)
Arcillas	3	0.5×10^{-4}	0.432
Arenas	25	400×10^{-4}	34.56
Gravas	22	2500×10^{-4}	216
Gravas y arenas	16	950×10^{-4}	82.08
Areniscas	8	330×10^{-4}	28.512

5.4.3 El informe JICA, hace referencia al rendimiento específico de Walton (1970), cuyos valores están en el rango de los anteriores (véase tabla 13).

Tabla 13: Rendimiento específico.

Tipo de roca	Rendimiento específico (%)
arcilla	1-10
arena	10-30
grava	15-30
Arena y grava	15-25
arena gruesa	5-15
Arcilla esquinosa	0.5-5
Material calizo	0.5-5

Como puede observarse todos los valores de porosidad efectiva andan en el mismo rango para todas las fuentes de información, ya sea agrupado o nombrado de una u otra manera. Los valores de porosidad fueron tomados de estos rangos y se muestran (véase figura 11).

5.5 Cargas constantes consideradas en el modelo

Las cargas constantes consideradas en el modelo de aguas subterráneas de la cuenca central del acuífero de Managua son:

- a. Lago de Managua
- b. Laguna de Asososca
- c. Laguna de Tiscapa
- d. Laguna de Nejapa.

La información fue obtenida del Instituto de Estudios Territoriales (INETER), de la dirección de estudios Hidrogeológicos, en detalle es la siguiente:

5.5.1 Lago de Managua

La serie de datos corresponde a los niveles históricos promedios anuales del lago en el período 1927-2001 presentado discontinuidad en los años 1948-1952, para su análisis estadísticos no presenta mayor inconveniente puesto que para la medidas de dispersión y de tendencia se consideran demás de los comportamientos, el número de datos, no así gráficamente que es necesaria la continuidad en los período de tiempos por lo que se dividió en tres períodos. El primer período va desde 1927 hasta el 1947, el segundo de 1953 hasta el 2001 y el tercero de 1981 al 2001 (véase tabla 14).

Tabla 14: Niveles históricos promedios anuales del Lago de Managua (1927 – 1947).

Año	Nivel	Año	Nivel	Año	Nivel
1927	38.89	1953	38.49	1981	37.84
1928	39.42	1954	38.8	1982	39.06
1929	39.42	1955	40.33	1983	39
1930	39.06	1956	40.75	1984	38.2
1931	38.61	1957	39.74	1985	37.6
1932	39.43	1958	39.47	1986	38.02
1933	41.39	1959	38.7	1987	37.21
1934	41.51	1963	38.15	1988	38.2
1935	40.79	1964	38.04	1989	38.38
1936	41.01	1965	37.33	1990	37.88
1937	41.29	1966	37.38	1991	37.21
1938	41.20	1967	37.19	1992	36.25
1939	40.61	1968	36.86	1993	35.78
1940	39.52	1969	37.83	1994	35.8
1941	39.19	1970	39.23	1995	36.11
1942	39.11	1971	39.33	1996	37.53
1943	39.25	1972	38.83	1997	38.62
1944	39.24	1977	37.47	1998	38.55
1945	39.29	1978	36.5	1999	41.51
1946	38.33	1979	35.88	2000	40.74
1947	37.56	1980	36.96	2001	39.69

Fuente: INETER

El comportamiento de dichos niveles se muestra a continuación (véase grafico 5, 6, 7).

Gráfico 5: Niveles históricos promedios anuales del Lago de Managua (1727 – 1947).

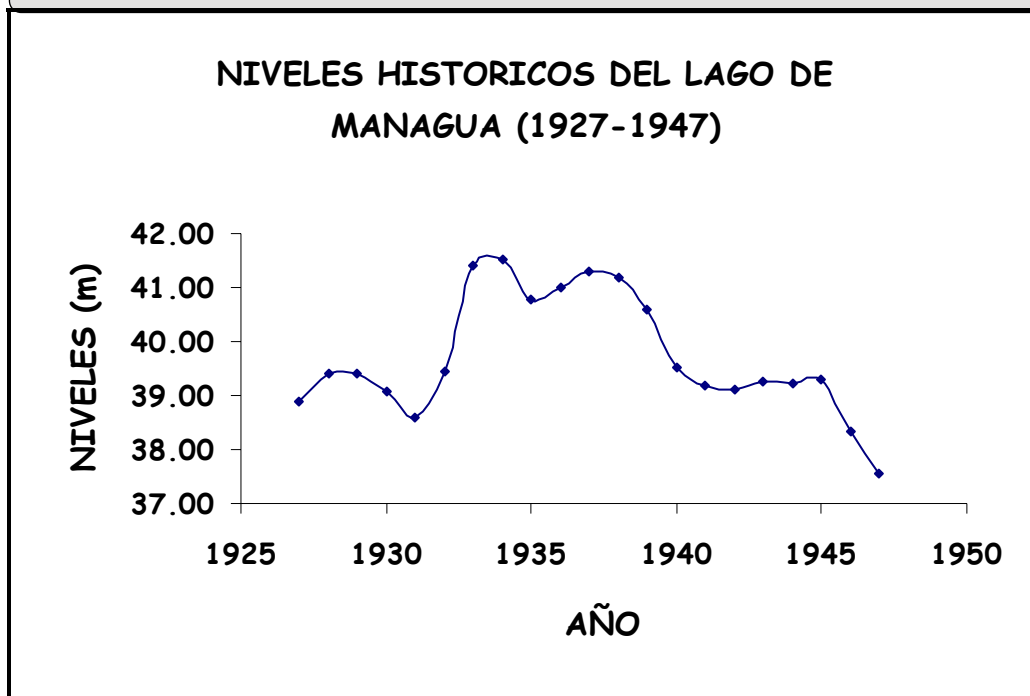


Gráfico 6: Niveles históricos del Lago de Managua (1953 – 1980).



Fuente: INETER

Grafico 7: Niveles históricos del Lago de Managua (1980 – 2001).



Como puede observarse la variación de los niveles no es muy significativa, teniendo una media de 38.68m con una desviación estándar de 1.48, el coeficiente de variación es de 3.8% considerándose un valor relativamente bajo.

5.5.2 Laguna de Asososca

La información registrada corresponde al período 1994-2001, siendo la misma fuente de información que la del lago (véase tabla 15).

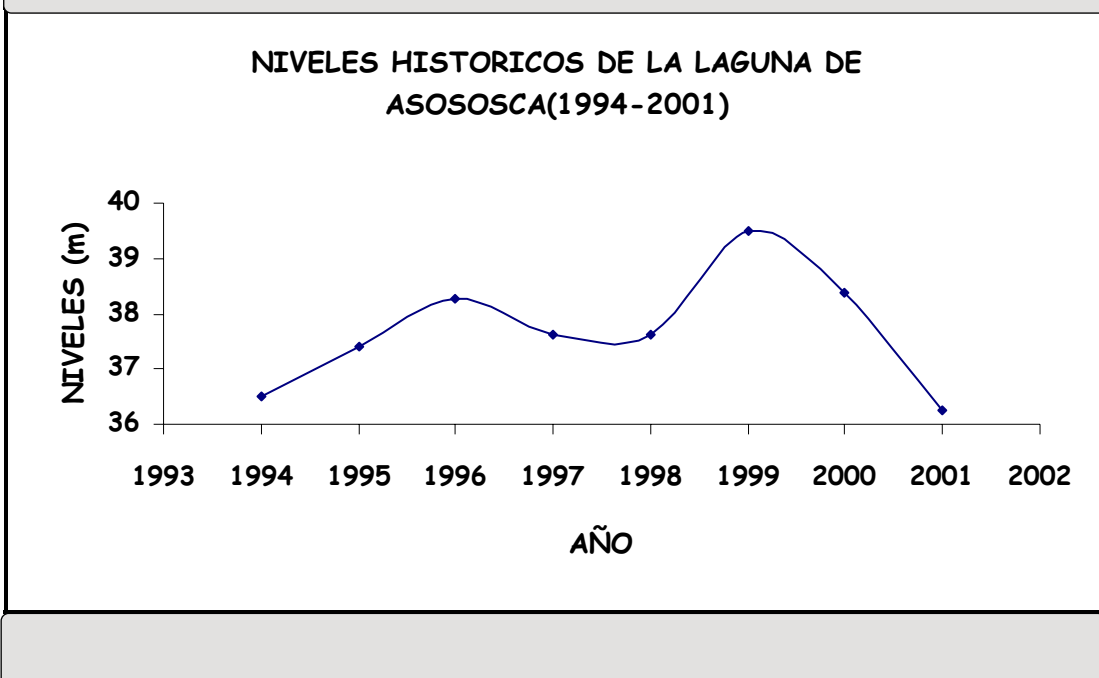
Tabla 15: Niveles históricos de la Laguna de Asososca (1994 – 2001).

Año	Nivel
1994	36.49
1995	37.4
1996	38.27
1997	37.61
1998	37.62
1999	39.49
2000	38.39
2001	36.26

Fuente: INETER

El comportamiento de dichos niveles se muestra a continuación (véase grafico 8).

Gráfico 8: Niveles históricos de la Laguna de Asososca.



Como puede observarse la variación de los niveles es poca de un año a otro, la media es de 37.69m con una desviación estándar de 1.045, el coeficiente de variación es de 2.8%.

5.5.3 Laguna de Tiscapa

La información registrada corresponde al periodo 1980-1987 y de 1989-2002, faltando en la serie la información del año 1984 (véase tabla 16).

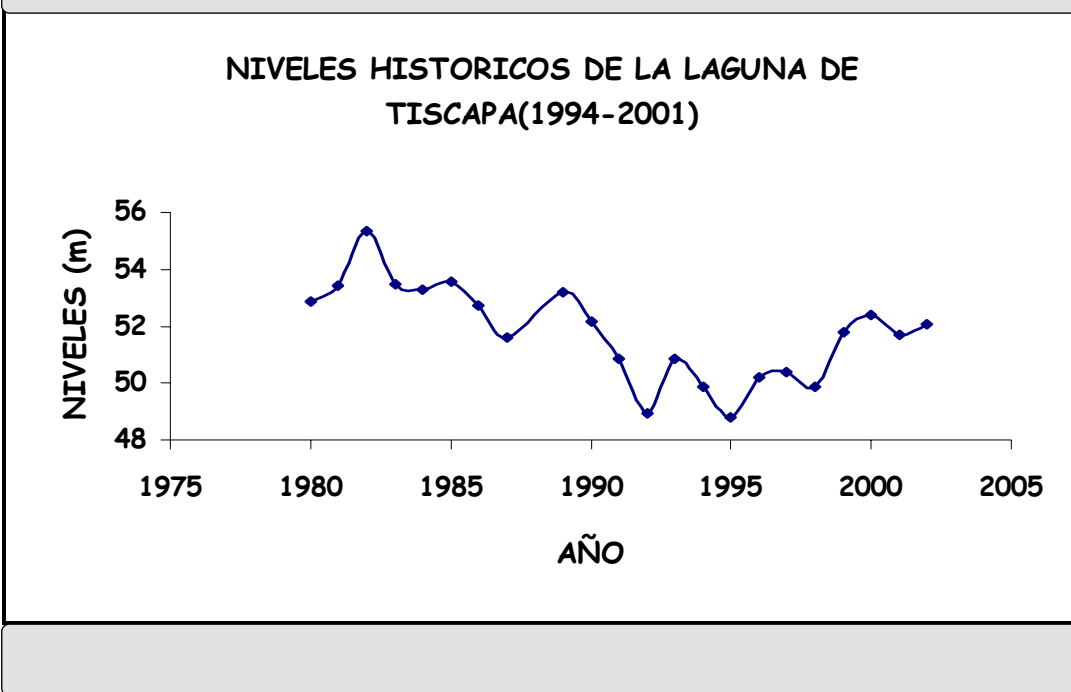
Tabla 16: Niveles históricos de la Laguna de Tiscapa (1980 – 2002).

Año	Nivel	Año	Nivel
1980	52.865	1992	48.947
1981	53.426	1993	50.86
1982	55.361	1994	49.861
1983	53.496	1995	48.78
1984	53.266	1996	50.206
1985	53.568	1997	50.369
1986	52.748	1998	49.876
1987	51.617	1999	51.789
1989	53.192	2000	52.385
1990	52.178	2001	51.707
1991	50.857	2002	52.056

Fuente: INETER

El comportamiento histórico promedio de la serie es como se muestra a continuación (véase grafico 9).

Gráfico 9: Niveles históricos de la Laguna de Tiscapa.



La media histórica del período corresponde a 51.79 m, con una desviación estándar de 1.687, el coeficiente de variación es de 3.24%.

5.5.4 Laguna de Nejapa

La información corresponde a los niveles históricos del período 1990-2002 (véase tabla 17).

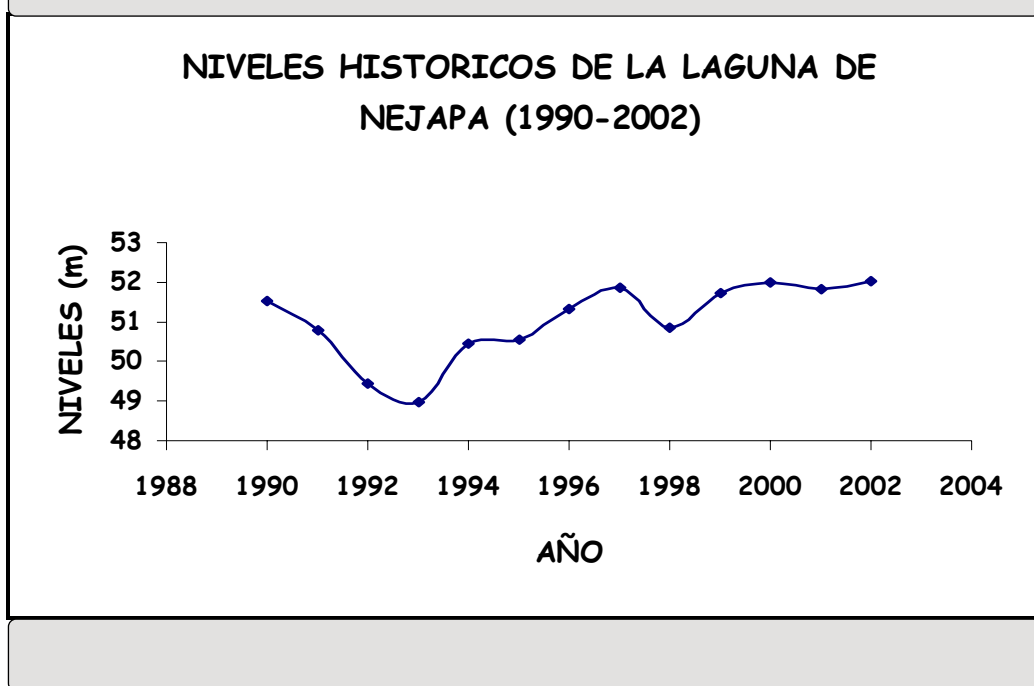
Tabla 17: Niveles históricos de la Laguna de Nejapa (1990 – 2002).

Año	Nivel	Año	Nivel
1990	51.53	1997	51.87
1991	50.8	1998	50.85
1992	49.45	1999	51.74
1993	48.98	2000	51.98
1994	50.45	2001	51.81
1995	50.54	2002	52.02
1996	51.33		

Fuente: INETER

El comportamiento de los niveles históricos anuales de Nejapa pueden observarse a continuación (véase grafico 10).

Gráfico 10: Niveles históricos de la Laguna de Nejapa (1990 – 2002)



La media histórica corresponde a 51.03m, este es el que presentar de todas las cargas constantes la menor desviación estándar que corresponde a 0.97, el coeficiente de variación es de 1.91%.

5.5.5 Resumen de las medidas de tendencia y dispersión de las cargas constantes

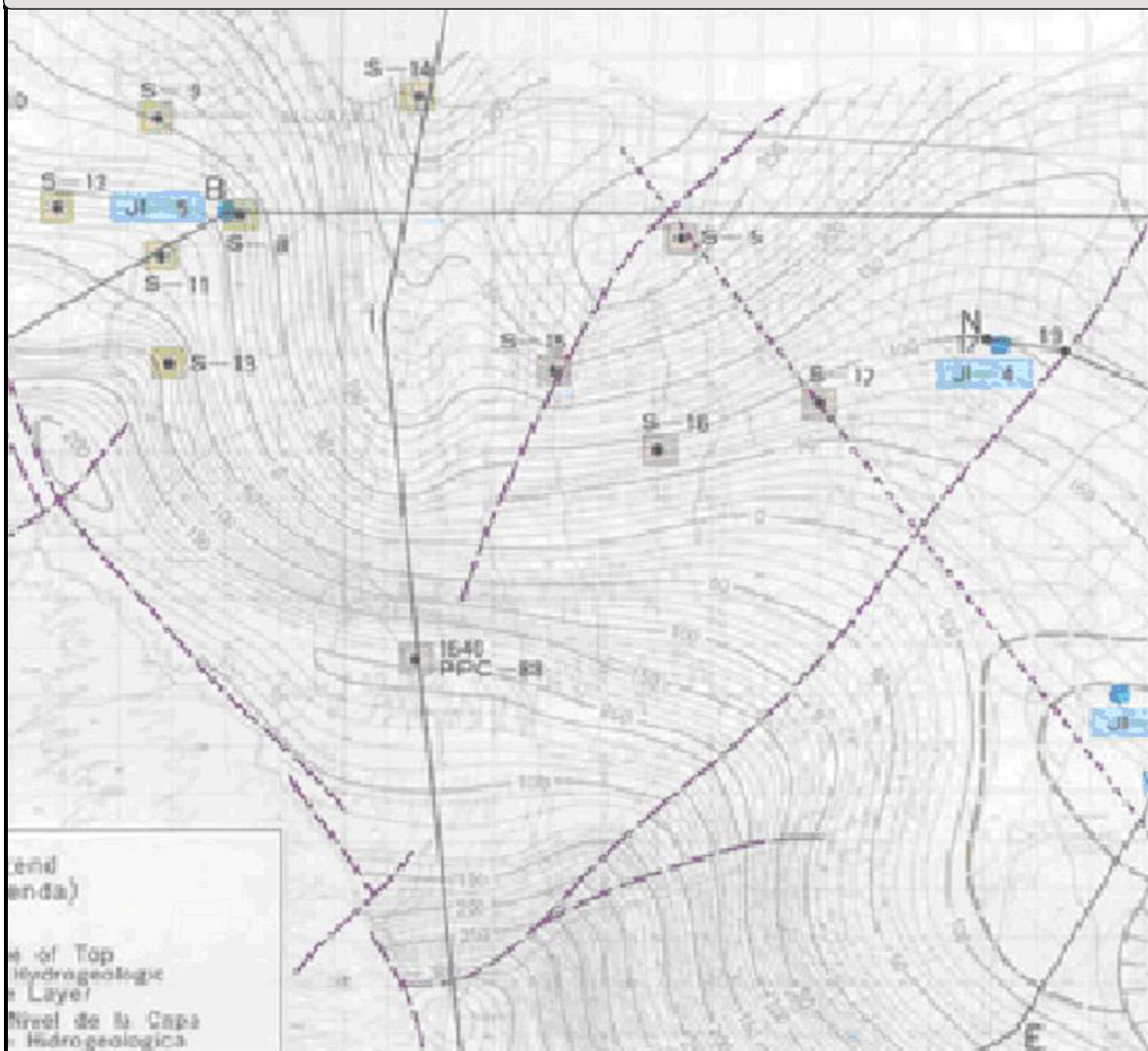
(Véase tabla 18)

Tabla 18: Resumen de las medidas de tendencia y dispersión de las cargas constantes			
Cuerpo	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
Laguna de Asososca	37.69m	1.045	2.8%
Laguna de Nejapa	51.03m	0.97	1.91%
Lago de Managua	38.68m	1.48	3.8%
Laguna de Tiscapa	51.79m	1.687	3.24%

5.6 Basamento del acuífero

El basamento de la cuenca se tomo del “Mapa de Elevación del Techo de la Capa Hidrogeológica Impermeable” del Informe JICA,1993 (véase figura 14).

Figura 14: Basamento de la cuenca central.



BASAMENTO DE LA CUENCA CENTRAL (sin escala)

Fuente: Informe JICA, 1993

5.7 Manantiales y hundimientos de suelo

En la cuenca central del acuífero de Managua no hay manantiales para determinar si ha habido merma en sus caudales para observar el grado de sobreexplotación, habría que usar otras técnicas para determinar las descargas del acuífero.

En lo relacionado a los hundimientos de suelo INETER, no ha realizado estudios específicos sobre estos, sin embargo hay dos estudios preliminares sobre deslizamientos que se localizan en dos puntos que están ubicados en los límites del acuífero que son:

- a. Susceptibilidad por movimientos de laderas en el cerro Motastepe (Junio, 2002), el cual concluye que no hay evidencia de procesos inestables en el Cerro.
- b. Susceptibilidad por movimientos de laderas en el cerro Los Martínez (junio, 2002), el cual en una de sus conclusiones orienta el estudio de la Micro cuenca, sin embargo resalta la atención de el grado de erosión hídrica que existe en la zona.

5.7.1 Área construida en viviendas en la cuenca central

Tomando en cuenta la información del municipio sobre vivienda y la clasificación que hace la dirección de planificación de la alcaldía de Managua en el Boletín Demográfico 2001, el área construida aproximada es (véase tabla 19, ver anexo 10).

Tabla 19: Área construida en viviendas.

Tipo de vivienda	Número de vivienda	Dimensión del Lote (m²)	Área construida (m²)	Área total (Km²)
Residencial	16750	> 200	99	1.65828
Tradicional	12376	250	45	0.55682
Popular	65293	80-250	30	1.95879
Progresiva	30334	100-120	20	0.60668
Espontánea	42865	100-120	20	0.8573
Rural	15038		30	0.45114
total	182656			6.08901

Fuente: Boletín Demográfico 2001 alcaldía de Managua.

El área total construida era de 6.1 Km² dentro del área del acuífero, si se toma en cuenta el crecimiento natural de la población, esta tiende a crecer en forma natural, destacándose dentro de estos el crecimiento de las viviendas residenciales. Este resultado no toma en cuenta el crecimiento en vías con cualquier tipo de cubierta, que estos proyectos traen, así como las áreas cubiertas de uso público.

5.7.2 Área ocupada por la red vial en la cuenca central

El estudio “Plan Nacional del Transporte de Nicaragua” (Informe final, volumen IV, 10 de febrero del 2001) elaborado por el ministerio de transporte e infraestructura (MTI) presenta la siguiente información sobre la red vial de Managua (véase tabla 20).

Tabla 20: Red vial de Managua.

Tipo de Vía	Longitud de vía (Km)
Travesía	4.52
Distribuidoras primarias	93.29
Colectoras Secundarias	18.35
Calles locales	657.86
Total	1,108

Fuente: MTI

Los anchos de vías van desde los 18 a los 100 metros (desde de 2 a 6 carriles) si se toman las calles locales que es la red mas amplia y considerando que un 60% de esta tiene algún tipo de recubrimiento, y que estas son generalmente de dos carriles el área impermeabilizada es de 7.105 km² dentro de la cuenca central.

Si consideramos el área total de viviendas y el área de vías el área total impermeabilizada sería de 13.20 Km² (véase ANEXO 10).

Capítulo 6: Resultados de la calibración del modelo de la cuenca central de Managua

En la calibración se tomaron en cuenta todos los valores de conductividad recomendados por diversas fuentes sin embargo los de Fenzl son los que dan los errores elevados y a pesar que el resto son errores pequeños, no son valores con los que se pueden realizar un análisis de sensibilidad acorde a la realidad del acuífero, el comportamiento de los errores usando los valores recomendados por Bethune son los siguientes (véase tabla 21).

Tabla 21: Valores recomendados por Bethune.

Formación	Sin flujo Específico	Con flujo Específico	Con todas Las fallas	Variando
	K	K	K	K
	m/día	m/día	m/día	m/día
Qal y QvM	15	15	20	15
QvP	390	390	390	390
TQPsM	13,5	13,5	40	13,5
TQPs(S)	20	20	45	20
TQPs(M)	25	25	40	25
TQPs(M)	10,5	13,5	40	13,5
QvA	3,9	2,035	3,9	2,035
FLUJO ESP.		0,0016	0,0016	0,0016
ERROR	3,40%	3,19%	5,02%	5,48%

Los valores recomendados por INAA, MARENA y Oscar Cruz (están en un mismo rango) que tienen poca diferencia entre sí ,sin embargo una variación hasta de milésimas cambia la magnitud del error. Las líneas de carga tienen un rango de valores similares a las del informe JICA, sin embargo hay inconsistencias en la información porque quedan zonas sin agua aun con el error más bajo, lo que es muy difícil localizar, los resultados

de la calibración considerando los valores recomendados por Bethune son los siguientes (véase tabla 22).

Tabla 22: Resultados de la calibración.

Formación	K (m /día)	K (m /día)
Qval	1.96	1.96
QvM	1.3	1.3
TQPs(S)	0.09-2.25	0.1-2.75
TQPs(M)	0.252-4	0.21-9
QvP	9.5	18
QvA	0.08	0.08
Error	2%	0.3695%

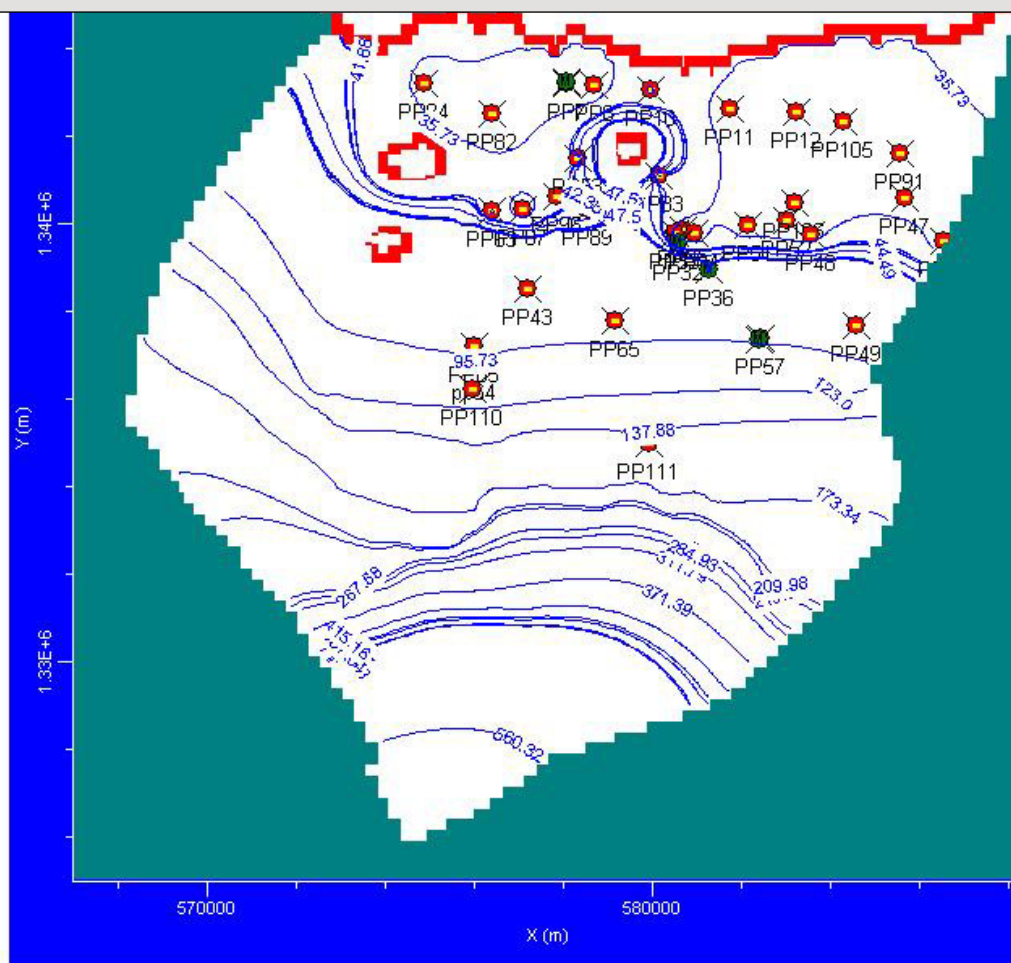
Si toma en cuenta el criterio de la conductividad promedio haciendo la relación entre la transmisibilidad recomendada por el Informe JICA (1993) para la cuenca central y la profundidad promedio del acuífero tenemos los siguientes resultados (véase tabla 23).

Tabla 23: Resultados obtenidos de la relación (transmisibilidad – profundidad).

Formación	K (m /día)
Qval	0.8
QvM	0.9
TQPs(S)	0.8-0.87
TQPs(M)	0.89-1
QvP	4.5
QvA	0.08 –0.075
Error	0.0094

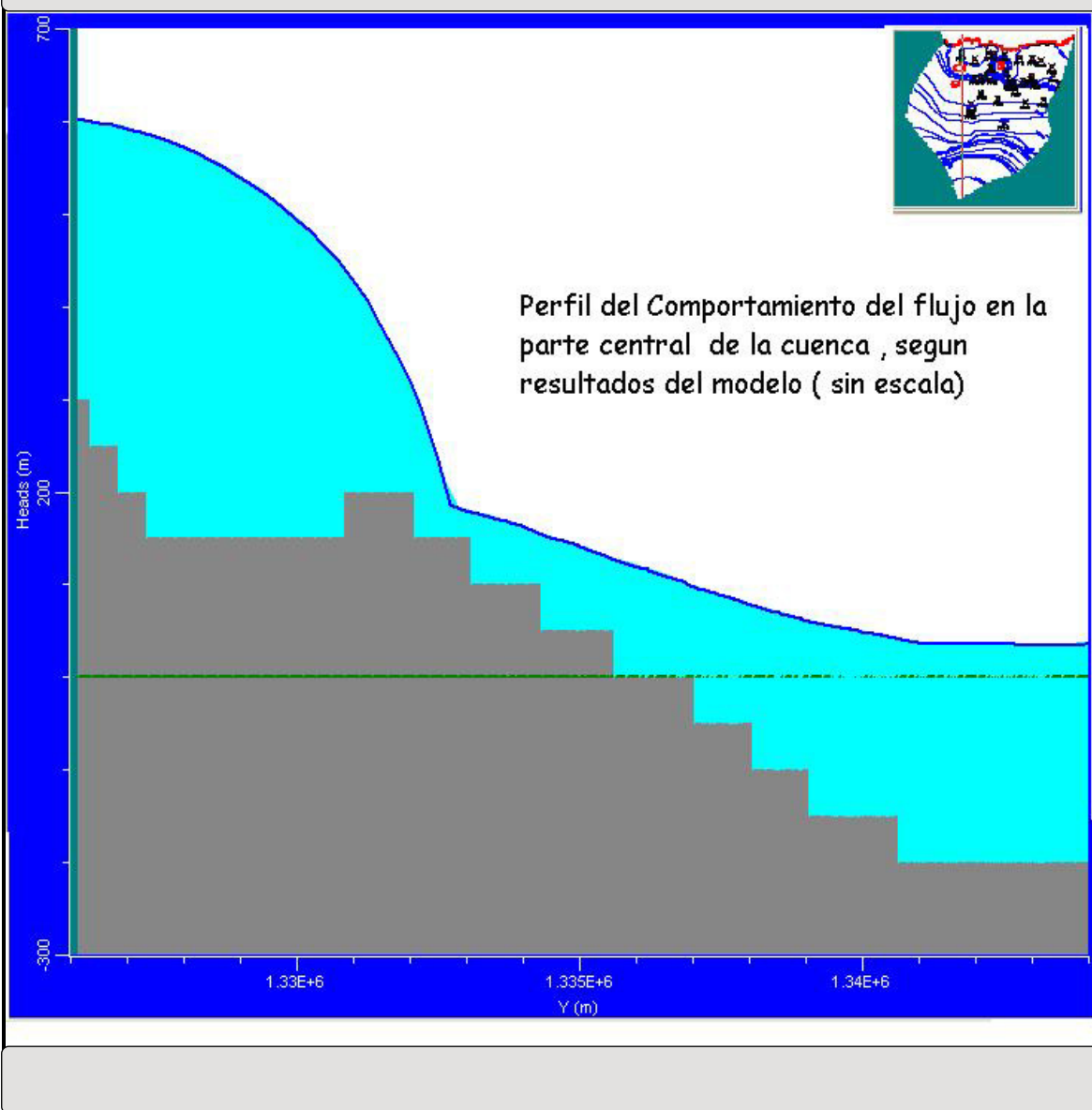
Las líneas de carga tienen un rango de valores similares a las del informe JICA, no quedan zonas sin agua, presenta un comportamiento de isolíneas mejor definidas muy bien formado en la línea central. Algo notorio es que es el primer modelo que permite localizar valores de conductividad por formación hidrogeológica (véase figura 15, 16).

Figura 15: Mapa de isolíneas resultado del modelo en la cuenca central.



MAPA DE ISOLINEAS RESULTADO DEL MODELO EN LA CUENCA CENTRAL
SIN ESCALA

Figura 16: Perfil de comportamiento del flujo en la parte central de la



De acuerdo a los resultados obtenidos en la calibración final se observa que : La dirección del flujo se mantiene a pesar de las diferencias de conductividades de sur a norte en dirección al lago en la mayor parte del área de la cuenca y es lógico porque a pesar de que la extracción es alta todavía no rebasa la recarga

(véase figura 17). Si se tomara en cuenta la extracción privada esta estaría más ajustada, por lo que es de suponer que la inversión que se observa en la zona costera se debe a la explotación excesiva en la misma (véase figura

18). Un comportamiento que se observa es que el área volcánica de Asososca funciona como un canal de agua subterránea (véase figura 19). La extracción en Asososca se considera por medio de su nivel, tomando en cuenta que si se modela en estado natural su nivel sería un valor mucho mayor al puesto en el modelo.

Figura 17: Dirección del flujo de agua subterránea en la cuenca central.

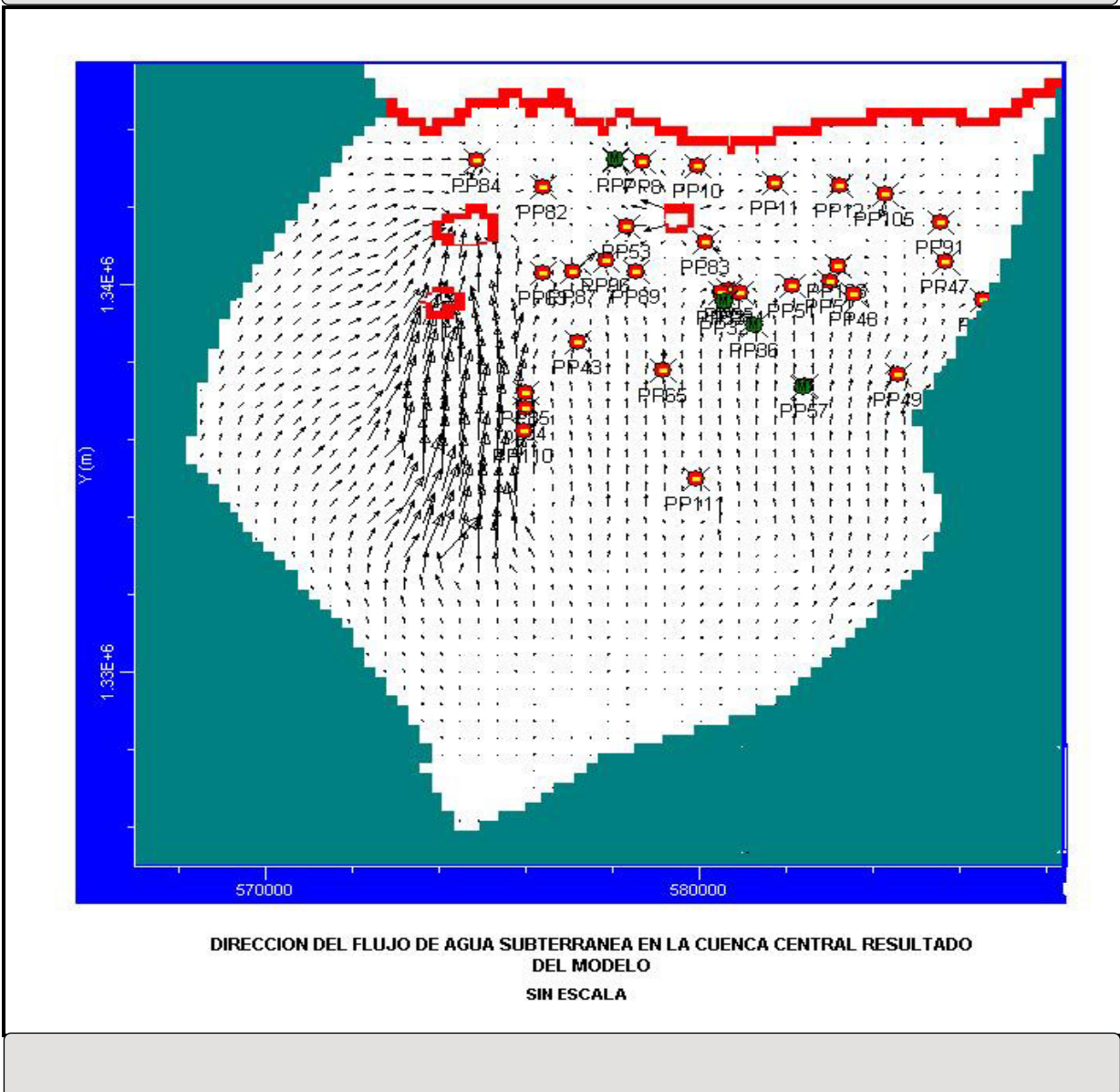
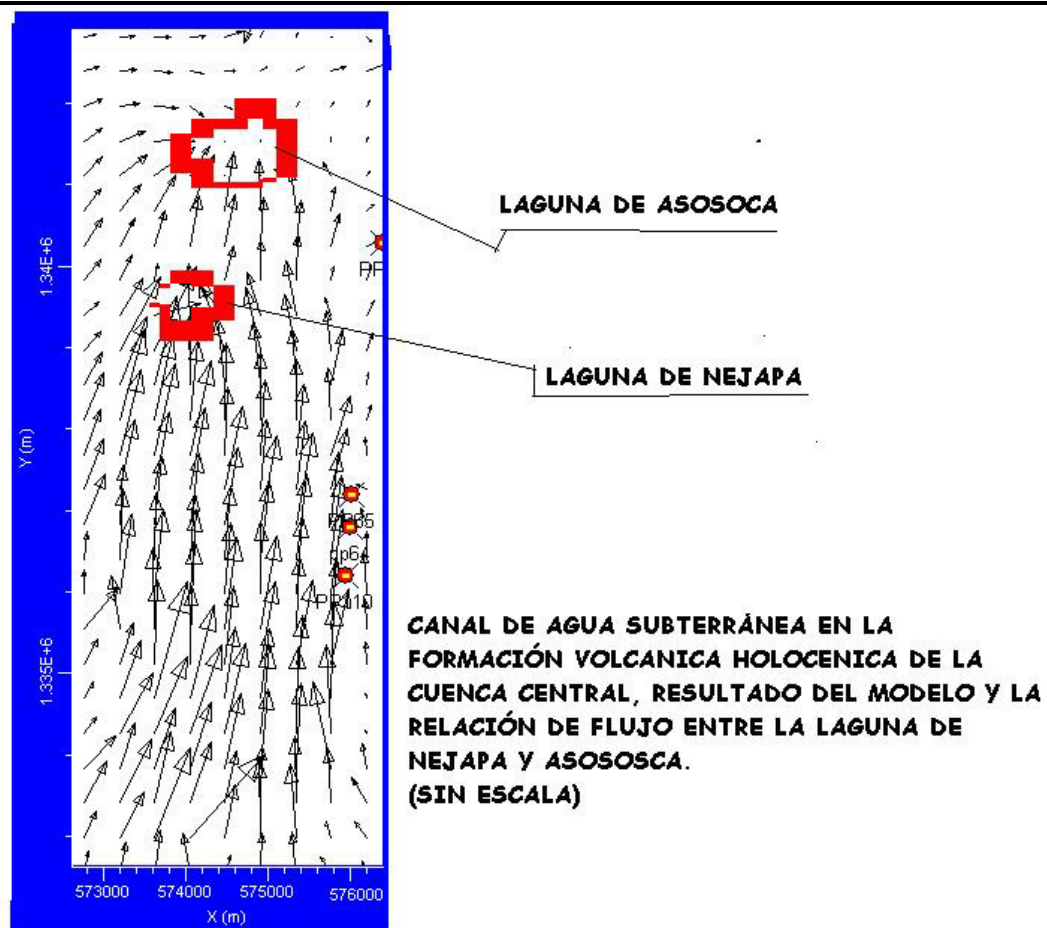
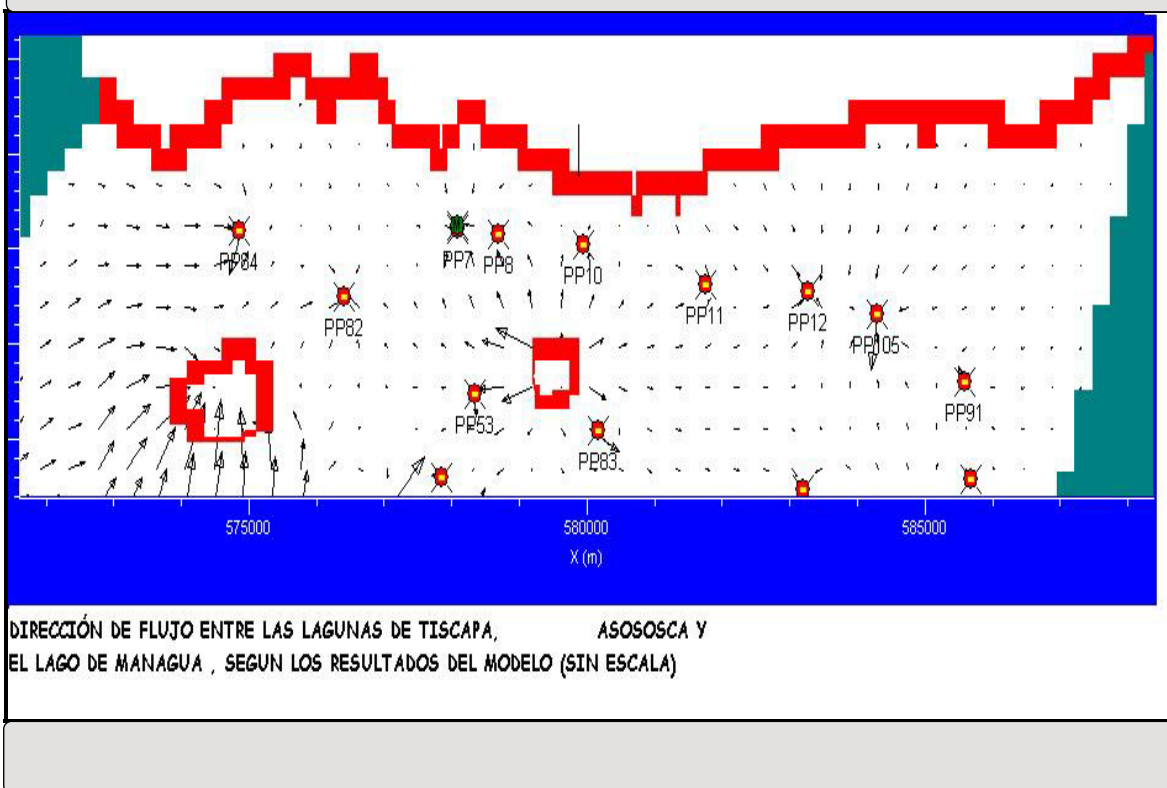


Figura 18* : Canal de agua subterránea en la formación volcánica holocénica de la cuenca central.



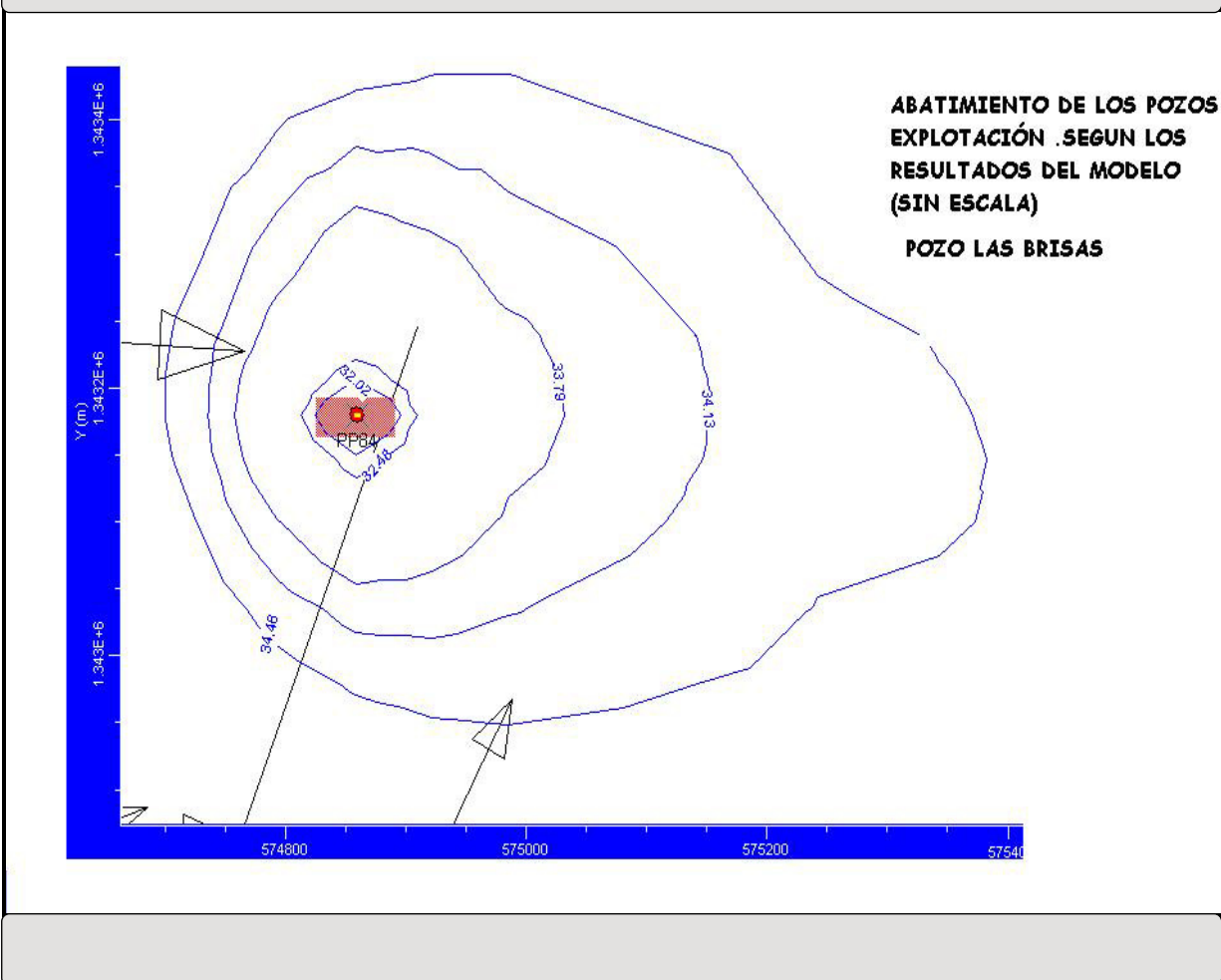
*Dirección de fluio preferencial del agua

Figura 19: Dirección del flujo entra Tiscapa, Asososca y el lago de



Los abatimientos son observados con mejor formación como es lógico en aquellos pozos que tienen los mayores caudales de explotación en este caso el pozo ubicado en Las Brisas (véase figura 20).

Figura 20: Pozo Las Brisas



El balance general obtenido en la corrida de más bajo error se observan los resultados siguientes:

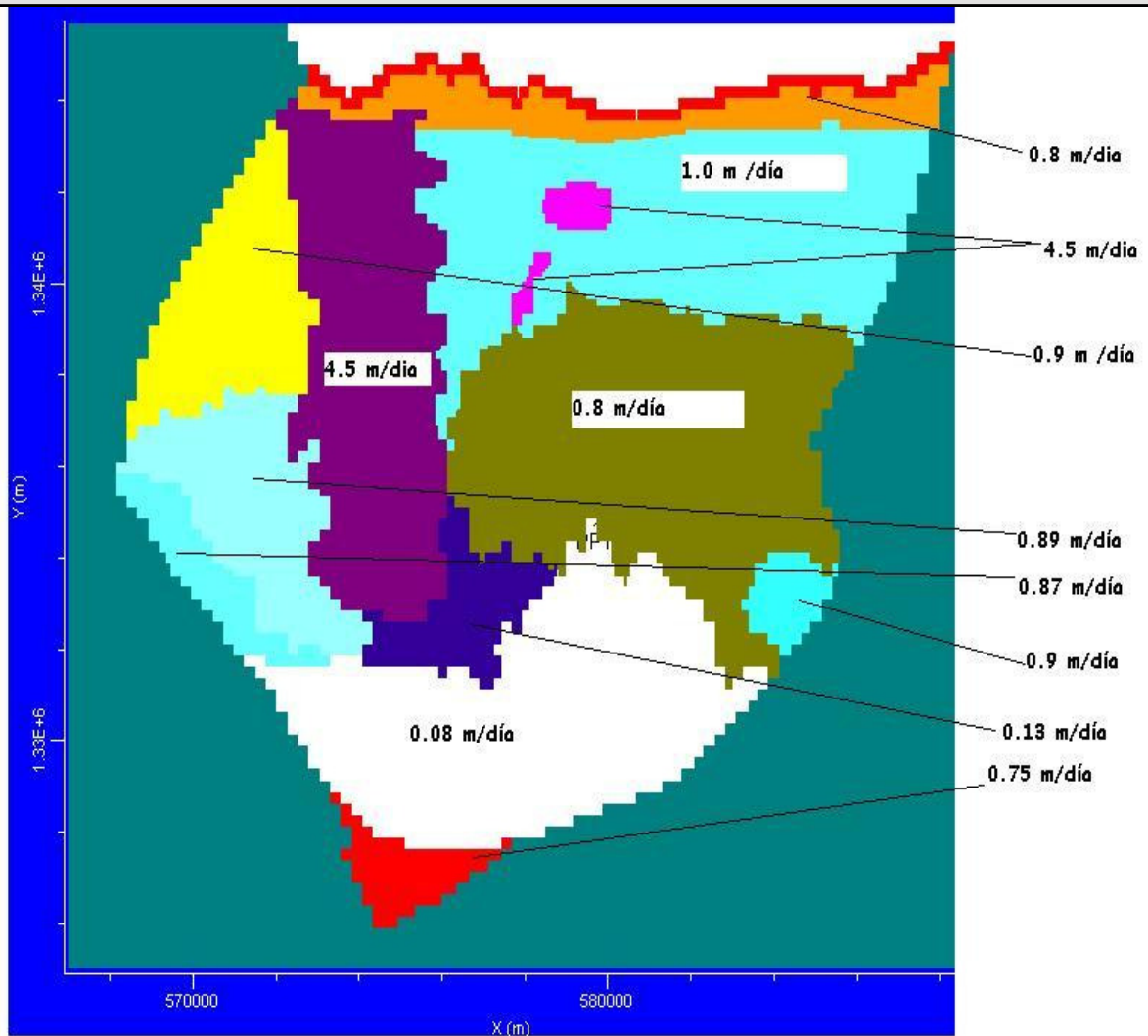
Recarga neta: 135,611.8455 m³/día

Extracción por bombeo: 114,289.3 m³/día

La relación diaria entre la extracción por bombeo y la recarga neta es de 84.27% porcentaje que es mayor realmente por la extracción privada, de la cual no se tiene control de los caudales.

Los valores de conductividad para el error más bajo se muestran (véase figura 21).

Figura 21: Conductividades finales resultado de la calibración del modelo.



Conductividades finales , resultados de la calibración del modelo, correspondientes al error más bajo
(Sin escala)

CONCLUSIONES

A) Sobre los parámetros del modelo

- 1) Debido a que cada pozo tiene su propio diseño para satisfacer una demanda, los caudales de explotación presentan una dispersión muy alta, no permitiendo comparación alguna alrededor de un caudal medio, la mayoría de ellos están ubicados en la parte noreste de la cuenca, tienen lógica de explotación ya que al caudal mínimo le corresponde el nivel estático más alto y viceversa, sin embargo esta información no es completa puesto que falta la extracción de agua que realiza el sector privado.**
- 2) La calibración final tomo como referencia las alturas de carga mostradas en el informe JICA donde están las tres cuencas. (rangos entre 35 m y 600 m.1993), debido que los datos obtenidos en el departamento de explotación de INAA no brindan información alguna sobre las condiciones en las que se realizó la observación.**
- 3) La recarga es una información que está muy buena (hay coeficientes calculados) para cualquier trabajo sobre modelos , permitiendo ubicar la misma de acuerdo a la formación geológica, sin embargo en la red hidrometereológica que es de reciente instalación, no hay muchos años de medición. Como puede observarse, los valores de precipitación son bastantes diferentes a los mostrados en el planos de isoyetas no permitiendo calcular una recarga más real. Algo importante de señalar es la disminución de la recarga por el crecimiento del área construida, 13.20 Km² del área total de la cuenca.**

- 4) La capacidad real de almacenaje del acuífero podemos afirmar que es diferente a la propuesta en el modelo porque los porcentajes de porosidad en la mayoría de los casos son iguales a los valores teóricos recomendados para otra realidades, al igual que otros parámetros (rangos finales :18% -22%).
- 5) El fondo del acuífero (-250m.s. n .m a 350m.s. n. m) puede modificar el comportamiento de las isolíneas, debido a que en el proceso de calibración un cambio mínimo en el trazado del fondo por la pendiente, que es muy empinada (manteniendo las mismas elevaciones), mostró un rango de valores de las isolíneas muy diferentes.

B) Sobre los resultados de la calibración del modelo

- 1) Con los datos utilizados, la extracción todavía no sobrepasa la recarga neta (87%), pero es necesario conocer la extracción privada así como observar la posibilidad de infiltración del acuífero que se ve amenazada por la impermeabilización de la superficie por la construcción de viviendas y vías, sobre todo en las urbanizaciones que se han ido extendiendo en la zona semi rural de Managua, y es la que presenta mayor área de construcción a nivel individual.
- 2) El flujo se mantiene siempre en la misma dirección y sentido a pesar de las variaciones de conductividad, es decir del borde alto hacia el lago de Managua (de sureste y suroeste hacia el norte). Sin embargo esta cambia en aquellas zonas donde el abatimiento producto de la extracción es grande, lo que lo pone en riesgo de una inversión, si el número de pozos aumenta la extracción, sobre todo en la zona costera.

- 3) De acuerdo al resultado del modelo, se observa una zona de flujo preferencial de aguas subterráneas sobre la formación volcánica holocénica, que va en la dirección de las lagunas de Nejapa y Asososca (véase figura 18).
- 4) Las lagunas son zonas permeables de acuerdo a los resultados del modelo con valores de conductividad asociados a los valores de la formación geológica correspondiente. Es notorio que las lagunas no se comportan de la misma forma (Ver figuras 18 y 19). Asososca recibe el flujo de agua y lo descarga con vectores de flujo de mínima longitud, lo que es real por el volumen de agua que se le extrae, es decir se comporta como un pozo, Nejapa queda como una isla de agua superficial puesto que el flujo pasa y sale con la misma dirección y sentido en cambio Tiscapa descarga agua en el acuífero puesto que las líneas de flujo salen de su contorno.
- 5) De acuerdo a la calibración, resalta la observación que los valores más decisivos para ajustar el error al mínimo están en la formación volcánica holocénica y volcánica pleistocénica, donde tienen los valores más altos y más bajos (véase figura 21).
- 6) Con el modelo se pueden determinar zonas de captura y de arrastre de partículas.

C) Acerca de las preguntas de investigación

- 1) La sobre explotación de la cuenca central del acuífero de Managua aun no es evidente puesto que no hay inversión de flujo del lago hacia el acuífero, si se observa es mínima puede ser aparente por la ubicación misma de los pozos que es muy desordenada, no hay hundimientos de suelo que haya registrado el organismo competente, si hay una extracción sin control, y la construcción de viviendas está impermeabilizando aceleradamente el acuífero limitando en alto grado las posibilidades de recarga.**
- 2) La posibilidad de hacer un balance hídrico real para medir la disponibilidad o déficit de aguas subterráneas dependerá de la revisión de todos los parámetros del acuífero ya que de acuerdo a la información recopilada se ve que hay muchas diferencias a pesar del tratamiento estadístico que se puede hacer, a manera de ejemplo las precipitaciones anuales acumuladas según registros es una y el mapa de isoyetas es otro.**

RECOMENDACIONES

- 1) Para cualquier trabajo futuro sobre modelos que se haga sobre la cuenca central la mejor información existente son las cargas constantes (lagos y lagunas), por el historial y por las medidas de tendencia y de dispersión que presentan, Debería mejorarse la tecnología para medir sus niveles y no con un simple medidor de nivel, en lapsos de tiempo mas cortos y de forma mas continuada.
- 2) La información de conductividad es la más variada y la más variable, sin embargo es necesario revisar los valores y retomar las formas de N. Fenzl por ser las más recomendables para modelar, puesto que las da para unidades geológicas. Hay que hacer una clasificación teórica para comparar con otros acuíferos.
- 3) Hay que prestarle atención a la ubicación futura de pozos y al caudal de explotación por la relación de estos con los niveles estático para determinar las variables hidráulicas (conductividad).
- 4) Hay que realizar estudios de descarga en las zonas aledañas al lago para medir la descarga del acuífero porque a excepción de las otras dos sub cuencas esta no cuenta con manantiales.

- 5) Para medir la extracción real es necesario levantar la información geo referenciada de la explotación privada, para lograr el total de la misma.**
- 6) Sería conveniente realizar otros estudios que confirmen la elevación del fondo porque es la información más limitada solo se cuenta con el fondo dado en el informe JICA.**
- 7) Igual que lo recomendaron otros estudios debe hacerse una mejor distribución espacial de los pozos sobre todo en la zona costera para corregir la supuesta inversión de flujo.**
- 8) Es necesario implementar redes de monitoreo de los niveles de agua subterránea y de los parámetros de calidad de la misma.**

BIBLIOGRAFIA

1. **Mijailov L**, Hidro – Geología, **Editorial MIR Moscú, 1985.**
2. **Proyecto SUWAR - ENACAL**, Aplicación del modelo matemático en la subcuenca oriental y regulaciones de las actividades económicas para la protección de sus campos de pozos, **Octubre 2000.**
3. **Castilla Antonio R. y Mejía Libardo**, Agua Subterránea, **Cali ,Colombia, Octubre 1985. UNIVERSIDAD DEL VALLE (F-034), Facultad de Ingeniería , Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas**
4. **Proyecto SUWaR - MARENA**, Vulnerabilidad Hidrogeológica.
5. **JICA – INAA**, Estudio sobre el proyecto de abastecimiento de agua para Managua, **1993.**
6. **Cruz Oscar**, Modelaje del acuífero de Managua y su rendimiento sostenible.. **UNIVERSIDAD DE COSTA RICA , ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA , SISTEMA DE ESTUDIOS DE POS GRADO . Tesis de Maestría.**
7. **Fentz Norberto**, Geología e Hidrogeología de Nicaragua.

- 8. Estudio Hidrogeológico e Hidroquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua , Instituto de Estudios Territoriales, Dirección de Recursos Hídricos ,Departamento de Hidrogeología . Managua Nicaragua ,1998.**



ANEXOS

Anexo 1: Valor de transmisibilidad en metros cuadrados por día.

Anexo 2: Propuesta de conductividad - Vulnerabilidad hidrogeológica

Anexo 3: Mapa de distribución espacial de conductividad hidráulica.

Anexo 4: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.

Anexo 5: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.

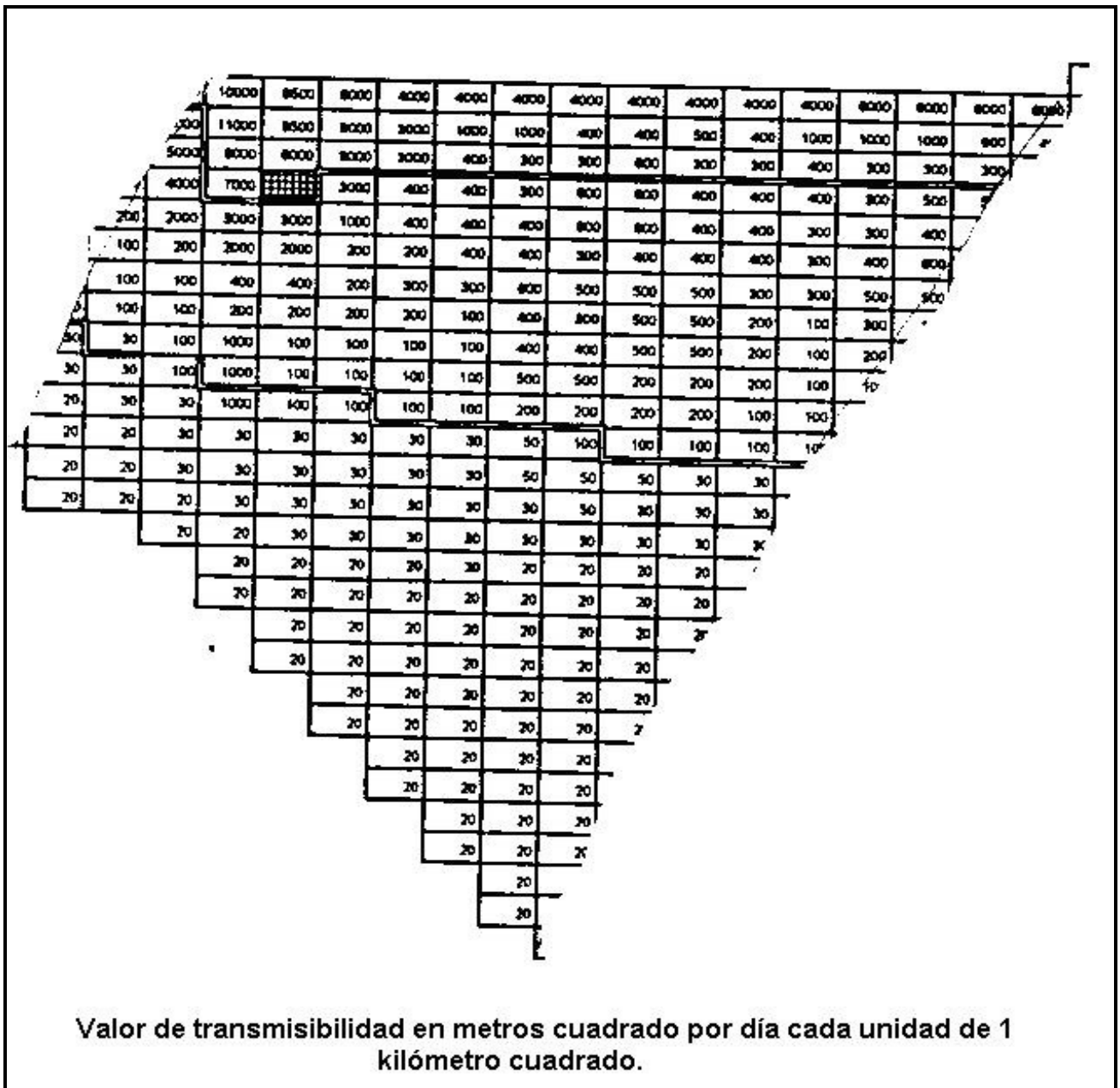
Anexo 6: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.

Anexo 7: Niveles estáticos de pozos de observación en pies.

Anexo 8: Cuadro comparativo de niveles de agua subterránea pozos propiedad de Enacal.

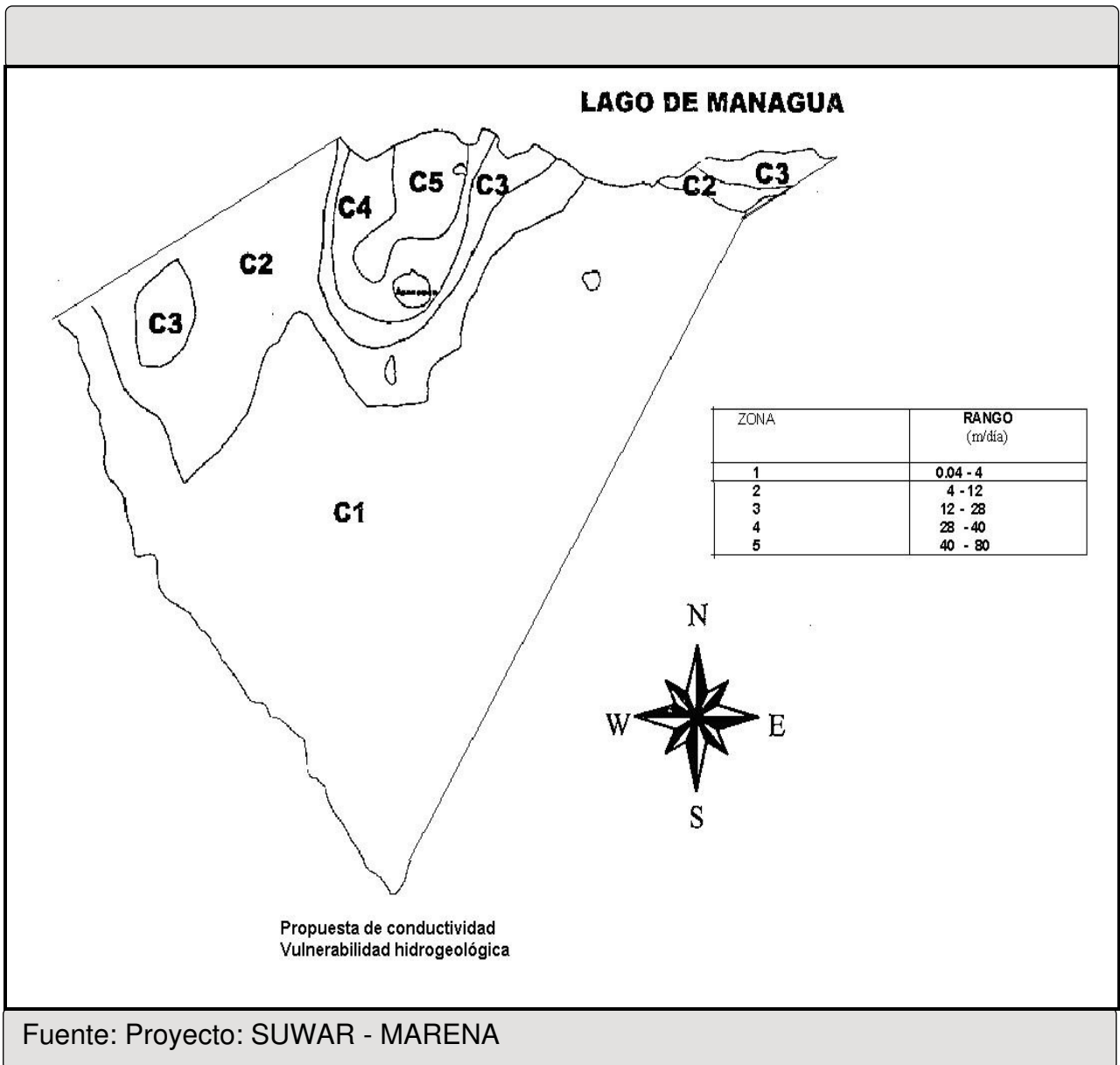
Anexo 9: Cuadro comparativo de niveles de agua subterránea pozos propiedad de Enacal.

Anexo 10: Área construida en la cuenca Central del acuífero de Managua.

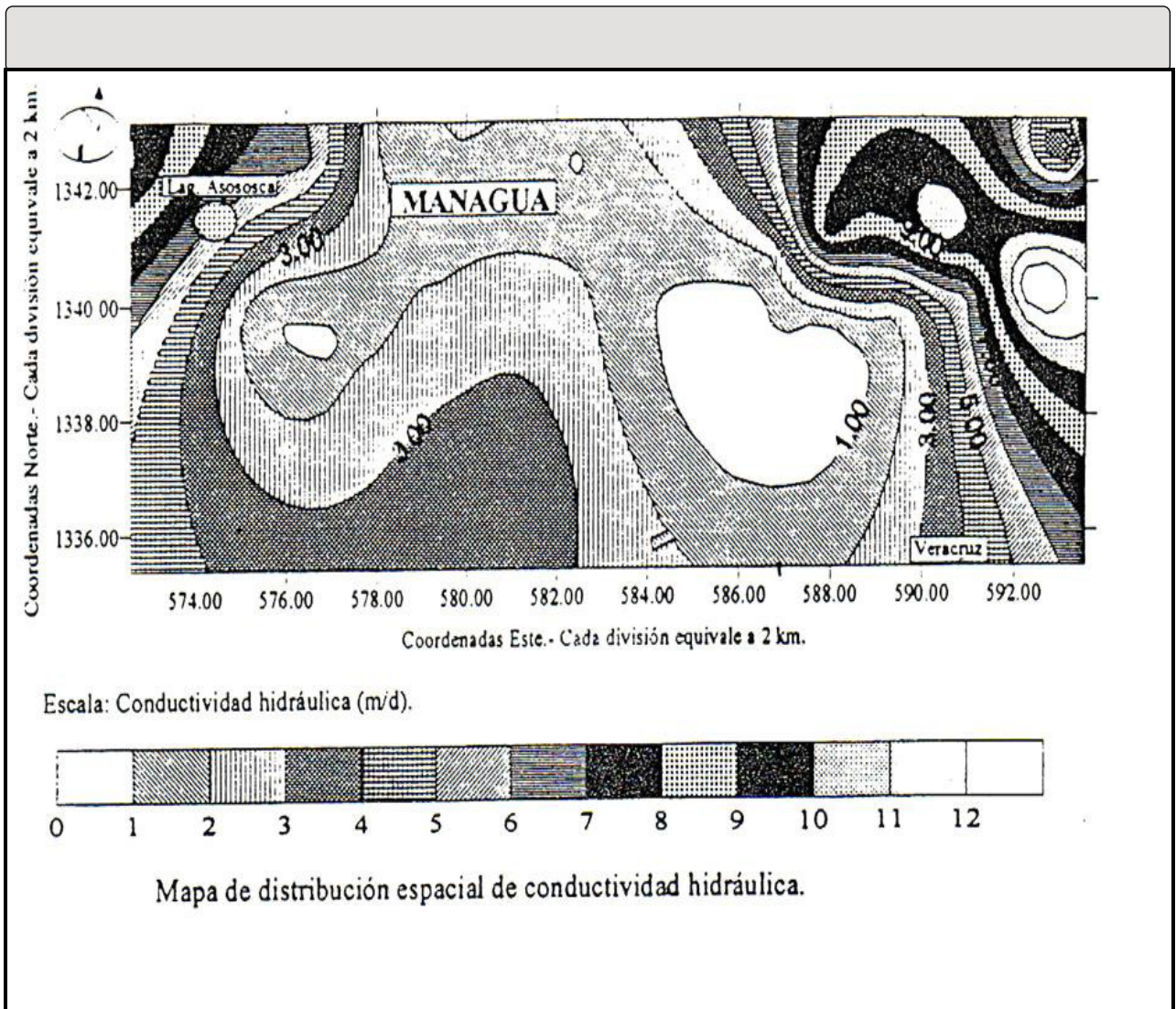


Fuente: Mapa de transmisibilidad del proyecto de abastecimiento para Managua (INAA / JICA 1993). Estudio hidrogeológico de la península de Chiltepe.

Anexo 2: Propuesta de conductividad - Vulnerabilidad hidrogeológica



Anexo 3: Mapa de distribución espacial de conductividad hidráulica.



Fuente: Tesis de Oscar Cruz

Anexo 4: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.

EMPRESA TERRITORIAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS DE MANAGUA

ENACAL - MANAGUA

DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION

CUADRO COMPARATIVO DE CAUDALES EXTRAIDOS

DE LOS POZOS PROPIEDAD DE ENACAL

REGION III, 1999

N°	UBICACION	CAUDALES (gpm)																								PRESION (PSI)												
		ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
		MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT													
1	LAS BRISAS A	1.352	1.420	1.479	1.451	1.374	1.386	1.392	1.343	1.432	1.418	1.426	1.415	1.466	1.449	1.352	1.390	1.379	1.400	1.400	1.340	1.326	1.343	1.358	1.357	47	27	48	48	40	40	24	42	39	38	44	39	
2	MONS LEZCANO B	1.047	1.157	1.100	1.160	1.039	1.074	1.039	1.144	1.162	1.149	1.092	1.163	1.171	1.193	1.100	1.109	1.189	1.200	1.175	1.182	1.096	1.179	1.162	1.184	5	2	10	20	3	12	3	14	2	5	14	4	
4	SAN ANTONIO A	792	812	914	892	792	779	767	755	792	789	803	813	877	835	813	839	858	850	867	871	893	910	866	860	46	14	49	58	57	44	36	52	43	40	31	39	
5	OLOF PALME	813	888	871	921	822	859	824	833	816	835	813	842	861	887	816	850	834	859	856	880	893	924	871	889	60	45	58	57	60	60	47	60	57	50	34	42	
6	MERCADO ORIENTAL N	734	739	792	781	740	768	745	771	731	742	740	756	792	826	750	769	793	804	MME	860	819	869	819	856	60	44	60	56	60	60	44	58	45	50	35	35	
7	COL TENDERI B	MME	822	MME	720	MME	783	MME	833	MME	725	MME	931	MME	838	MME	887	MME	850	MME	859	F/S	F/S	MME	940	44	40	43	38	36	12	34	29	36	38	F/S	19	
8	BELLO HORIZONTE B	988	1.070	993	1.017	964	945	1.051	1.100	1.060	1.175	1.161	1.044	1.100	1.067	1.088	1.056	1.112	1.030	1.070	1.065	1.185	1.128	1.150	37	44	42	30	33	8	31	26	26	30	27	18		
9	RAFAELA HERRERA J	1.190	1.236	1.220	1.253	1.183	1.191	1.223	1.280	1.220	1.245	1.194	1.206	1.225	1.257	1.252	1.262	1.223	1.211	1.205	1.216	1.220	1.231	1.189	1.157	39	33	40	30	30	40	33	28	34	38	34	20	
10	VILLA FRATERNIDAD									369	355	396	390	391	400	407	395	401	384	386	415	436	433	454	459					28	18	23	18	20	26	13	10	
11	MARTIRES DE AYAPAL	MME	1.082	MME	1.081	MME	1.008	MME	1.163	MME	1.044	MME	980	MME	1.034	MME	1.158	MME	1.056	MME	1.160	F/S	F/S	MME	950	30	30	29	29	36	26	31	30	26	34	F/S	28	
12	SAN CRISTOBAL No 1	338	388	338	379	335	332	354	348	366	360	335	340	332	334	330	329	327	307	325	303	322	326	330	325	5	5	6	5	5	3	3	2	4	4	4	2	
13	SAN CRISTOBAL No 3	382	325	282	384	277	253	284	294	300	290	269	251	266	270	259	259	256	268	248	228	251	236	246	241	3	3	6	5	5	6	6	6	4	9	5		
14	C.F.A. No 9	413	424	420	431	400	421	390	394	390	394	385	410	390	402	385	406	MME	370	MME	458	MME	429			50	50	58	54	55	53	51	56	47	48	45		
16	C.F.A. No 1	414	434	407	468	420	406	375	370	380	391	391	401	391	417	406	399	402	380	227	233	359	359			65	74	70	82	78	74	73	67	70	138	108		
17	C.F.A. No 2																																					
18	C.F.A. No 3	993	1.421	988	1.020	996	1.020	977	974	996	1.025	930	1.034	930	926	890	927	930	890	813	838	908	960			100	97	98	100	100	102	102	110	102	145	104		
19	C.F.A. No 4	2.266	2.284	2.135	2.268	2.244	2.298	2.154	2.075	2.105	2.160	2.098	2.113	2.140	2.026	2.166	2.193	2.182	2.173	2.267	2.290	2.319	2.255			60	72	70	66	68	72	70	70	64	89	64		
20	C.F.A. No 5	2.181	2.193	2.156	2.183	2.173	2.200	2.166	2.300	2.200	2.254	2.129	2.279	2.118	2.208	2.113	2.064	2.137	2.245	2.219	2.245	2.303	2.372			60	66	66	62	66	65	67	67	62	69	57		
21	C.F.A. No 6	922	962	914	927	924	966	909	1.050	960	975	893	NPA	888	NPA	916	NPA	925	NPA	887	NPA	956	NPA					65	69	64	66	64	60	70	66	64	70	50
22	C.F.A. No 7	629	655	613	653	644	674	608	603	609	616	586	593	586	599	605	627	610	628	623	650	655	628			62	62	60	64	66	68	72	68	66	68	50		
23	C.F.A. No 8	536	840	523	NPA	560	NPA	475	NPA	480	NPA	465	NPA	518	NPA	528	535	533	NPA	534	NPA	499	NPA			62	69	66	54	62	72	73	68	67	68	56		
25	C.F.A. No 14	989	1.005	860	591	874	620	666	690	680	699	655	697	650	731	652	595	597	569	697	660	745	721			72	74	71	70	69	74	79	76	89	76	63		
26	C.F.A. No 15	1.162	1.197	1.141	1.217	1.166	1.220	1.141	1.200	1.180	1.260	1.136	1.166	1.141	1.173	1.167	1.201	1.175	1.287	1.162	1.108	1.199	1.230			70	71	74	66	71	70	72	66	66	70	55		
27	C.F.A. No 16	1.104	1.072	1.104	1.123	1.070	1.053	1.057	1.040	1.033	1.066	1.065	1.078	1.057	1.086	1.057	1.080	1.075	1.119	1.028	1.000	1.051	1.118			60	60	68	70	74	68	66	68	67	72	62		
28	C.F.A. No 17	742	887	671	855	718	729	734	726	754	772	719	729	724	739	713	731	761	379	720	708	727					62	59	62	58	60	64	62	69	66	74	67	
29	C.F.A. No 18	935	1.000	930	1.057	961	1.045	940	1.000	1.020	988	909	938	925	961	919	957	959	1.025	1.017	980	1.036	1.067			63	60	58	62	63	66	63	69	64	68	60		

FUENTE DE INFORMACION

SECCION : CONTROL HIDROGEOLOGICO DE FUENTES .

FS Fuera de Servicio .

OBS Obstruido el Tubo Piezometrico .

M.M.I Medidor en Mal Estado .

N.P.A No posee Punto de Aforo .

* Nivel tomado del pozo de Observación .

Fuente: ENACAL - Managua

Fuente: ENACAL - Managua

Anexo 5: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.

EMPRESA TERRITORIAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS DE MANAGUA																																						
ENACAL - MANAGUA																																						
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION																																						
CUADRO COMPARATIVO DE CAUDALES EXTRAIDOS																																						
DE LOS POZOS PROPIEDAD DE ENACAL																																						
REGION III, 1999																																						
N°	UBICACION	CAUDALES (G.P.M.)																								PRESIONES (P.S.I.)												
		ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
		MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT	MED	PITOT													
ZONA ALTA																																						
31	E. CONTRERAS No 3	844	666	610	635	528	539	640	633	625	644	1.175	1.181	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	116	118	122	120	116	47	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	
32	CIUDAD SANDINO No 1	457	447	440	422	443	401	435	433	444	440	433	422	480	490	459	467	430	478	450	466	436	458	425	421	68	66	70	84	82	85	18	49	78	74	74	74	
33	CIUDAD SANDINO No 2	649	680	650	672	644	652	591	591	608	920	666	654	816	825	689	695	607	637	602	616	589	600	613	620	71	70	72	83	78	62	26	58	78	69	80	74	
34	CIUDAD SANDINO No 3	1.025	1.008	1.000	1.035	1.014	964	1.001	1.006	996	1.000	963	972	F/S	F/S	F/S	F/S	972	954	1.027	1.019	967	977	967	958	65	68	64	65	60	86		78	40	72	75		
35	SAN CARLOS	770	795	680	725	741	761	729	741	742	766	728	734	824	801	734	735	700	746	814	851	729	738	734	741	83	84	70	84	82	78	36	80	94	44	98	93	
36	JICA No 5	845	913	833	860	825	844	850	862	870	888	859	869	851	832	861	874	832	836	851	822	872	844			17	13	12	12	13	16	17	15	20	18	20		
37	RENE CISNEROS	414	433	407	398	406	403	401	397	391	403	396	374	412	394	472	404	391	405	402	425	394	412	394	396	12	20	13	14	22	16	8	8	26	20	24	24	
38	COLONIA NICARAO	454	513	449	476	438	450	436	453	428	446	428	452	460	474	430	477	422	452	417	472	417	427	470	463	42	44	45	45	42	43	22	45	47	45	43	9	
39	SABANA GRANDE No 1	MME	500	MME	489	435	475	423	449	436	420	440	468	471	496	462	468	458	453	449	452	449	441	497	482	87	72	58	63	57	58	42	43	46	64	49	25	
40	SABANA GRANDE No 2	MME	1.016	MME	1.007	919	975	902	909	916	914	916	924	964	1.048	977	989	946	950	960	970	929	922	790	1.010	58	58	65	70	65	58	48	45	55	52	60	36	
41	SABANA GRANDE No 3	537	605	572	572	528	564	506	515	519	522	520	562	F/S	F/S	F/S	F/S	532	543	537	565	542	560	612	640	72	65	78	83	80	72		69	72	70	45		
42	SABANA GRANDE No 4	1.030	1.050	1.057	1.059	MME	963	960	960	977	951	1.004	1.004	1.105	1.110	1.066	1.162	966	966	1.039	1.019	1.004	1.040	1.158	1.139	109	116	130	139	132	116	108	118	132	125	123	88	
43	SABANA GRANDE No 5	1.223	1.287	1.263	1.342	1.234	1.185	1.136	1.157	1.149	1.130	1.200	1.212	1.343	1.379	1.259	1.292	1.145	1.143	1.211	1.179	1.118	1.053			100	130	132	140	137	130	106	120	135	130	131		
44	V. AUSTRIA (JICA No 4)	298	258	296	300			311	302	300	316	306	290	295	263	296	299	296	295	296	260	296	294			4	5		4	5	4	5	4	4	4			
45	VILLA LIBERTAD	343	369	330	364	325	345	330	333	344	352	325	343	370	355	358	346	339	333	348	338	328	333	354	10	21	22	20	18	15	1	5	8	14	7	13		
47	BHELL METROCENTRO	792	827	797	797	818	781	824	831	803	789	814	808	845	843	792	817			782	773	835	841			85	83	59	53	60	58	47	68	70	50			
48	LOS GAUCHOS	705	738	686	714	708	681	718	768	871	852	876	684	734	724	686	663	680	703	679	705	766	772			85	82	78	70	80	86	66	85	90	90	60		
49	PARQUE LAS MADRES	MME	758	MME	770	MME	713	MME	732	MME	728	MME	704	MME	733	MME	832	MME	829	MME	748	MME	885			60	60	52	48	70	62	60	60	67	45	42		
50	INE CENTRAL	745	790	750	773	737	761	740	728	776	756	681	702	845	835	793	785	803	820	702	696	692	702			40	39	40	38	34	42	24	30	30	40	45		
51	LA MASCOTA	708	726	734	755	713	751	721	716									708	741	739	730	740	744	740	752	51	48	48	45				45	34	35	33		
52	PANCASAN No 4	674	672	600	640	634	665	570	551	634	631	592	592	644	636	620	619	634	622							32	30	28	27	28	26	28	30	30				
53	PANCASAN No 5	338	NPA	343	NPA	328	NPA	341	NPA	346	NPA	327	NPA	348	NPA			332	NPA	335	NPA	312	NPA			18	18	17	17	18	15	15		19	17	20		
54	PLAZA EL SOL	MME	842	MME	846	MME	922	MME	854	MME	848	MME	852	MME	910	MME	886	MME	901	MME	860	MME	878			62	54	43	50	57	62	53	60	70	68	66		
55	LAUREANO MAIRENA	330	354	339	359	335	311	338	330	327	317	320	300	F/S	F/S					325	345	330	365	338	336	76	84	88	72	81	80			76	80	68		
56	14 DE SEPTIEMBRE	404	405	404	407	396	399	396	388	400	396	394	408	394	416	376	370	394	390	391	397	396	395			30	28	25	26	12	10	16	28	18	16	14		

FUENTE DE INFORMACION

SECCION: CONTROL HIDROGEOLOGICO DE FUENTES.

FS Fuera de Servicio.

OBS Obstruido el Tubo Piezometrico.

M.M.E Medidor en Mal Estado.

N.P.A No posee Punto de Aforo.

* Nivel tomado del pozo de Observación.

Fuente: ENACAL - Managua

Anexo 6: Cuadro comparativo de caudales extraídos de los pozos propiedad de Enacal.

EMPRESA TERRITORIAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS DE MANAGUA																																										
ENACAL - MANAGUA																																										
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION																																										
CUADRO COMPARATIVO DE CAUDALES EXTRAIDOS																																										
DE LOS POZOS PROPIEDAD DE ENACAL																																										
REGION III, 1999																																										
N°	UBICACION ZONA ALTA SUPERIOR	CAUDALES (gpm)																								PRESION																
		ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		P.S.L.																
		MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	MED.	PITOT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
57	KM 5.5 C. SUR (S. Puz)	428	474																																							
58	KM 9.2 C. SUR	256	209	255	263	MMGE	204	MMGE	195																																	
59	KM 11.5 C. SUR	MMGE	305	MMGE	278	MMGE	279	MMGE	275	MMGE	280	MMGE	279	MMGE	271																											
60	KM 13.5 C. SUR	365	441	364	361	370	404	369		360	380	400	370	381	365	382	365	389																								
61	KM 14.5 C. SUR	MMGE	52																																							
62	KM 14.5 C. VIEJA A LEON	MMGE	438	467	491	458	420	466	428	455	449	462	451	467	446	462	450	462	450	462	445	468	473																			
63	Km 7 C. MASAYA	560	564	592	578	534	560	539	557	540	562	507	510	528	524	515	534	534	518	512	546	F/S	F/S																			
64	VERACRUZ No 7 (14 Smears)	442	NPA	460	NPA	465	NPA	466	NPA	428	NPA	464	NPA	467	NPA																											
65	VERACRUZ No 8 (JICA No 1)	924	974	920	932	920	918	894	898	920	910	849	839	F/S	F/S																											
67	VALLE GOETHL No 2	MMGE	729	MMGE	724	656	601	638	631	644	618	643	637	629	636	634	625	634	682	642	665	616	647	634	676	110	105	102	105	106	105	110	108	108	107	114	106					
68	VALLE GOETHL No 3	387	470					339	349	328	338	317	323	317	376	321	329	317	377	300	377	295	326	326	354	112																
69	VERACRUZ No 4	361	402	396	441	400	470	374	381	364	372	361	382	356	375																											
70	VERACRUZ No 5	374	395			MMGE	379	MMGE	319	MMGE	333	MMGE	373	352	381	361	372	361	371	F/S	F/S	F/S	F/S	343	351	58	43	50	48	49	47	49										
71	VERACRUZ No 6	620	674	688	614	629	680	625	640	644	652	625	643	629	628	634	648	638	652	647	653	647	664	625	651	72																
72	CENTROAMERICA No 3	166	158	164	NPA	162	NPA	161	NPA	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S	F/S																			
73	CENTROAMERICA No 4	388	400	380	409	386	400	364	352	369	381	343	366	343	363																											
74	REPTO. SHOCK No 2 (v. cuba)	562	529	554	546	555	513	544	577	553	564	544	573	539	542	544	521	542	518	528	519	534	500																			
75	REPARTO SHOCK No 3																																									
76	REPARTO SHOCK No 4																																									
77	SAN JUDAS No 1	573	477	570	485	571	478	522	540	561	524	558	547	561	550	550	581	548	547	545	531	543	543																			
78	SAN JUDAS No 2	475	506	490	510	483	501	492	516	480	487	476	490	475	449	475	487	475	474	473	486	475	462																			
79	S. JUDAS N° 3 (v. hermosa)	464	482	468	490	491	502	530	516	502	516	515	529	523	510	500	498	497	491	491	494	500	537																			
80	SIERRA MAESTRA	348	307	338	316	348	369	354	363	370	382	349	355	351	373	369	384	354	360	346	375	370	384																			
81	TORREZ MOLINA N°1																																									
82	TORREZ MOLINA N°2	MMGE	218	MMGE	210	MMGE	198	MMGE	197	MMGE	210	MMGE	209	MMGE	179	MMGE	212	MMGE	154	MMGE	203	MMGE	361																			
83	VILLA PANAMA	MMGE	412	MMGE	418	MMGE	405	MMGE	405	MMGE	405	MMGE	327	MMGE	392	MMGE	404	MMGE	396	MMGE	374	F/S	F/S																			
84	MANOLO MORALES	672	691	618	632	576	588	578	554	566	543	533	575	507	558	530	525	502	509	496	547	586	601	571	591	64	60	80	77	74	93	100	96	104	104	82	90					
85	BERTA CALDERON		400	434	391	441	412	407	MMGE	391	MMGE	355	MMGE	365	MMGE	640	581	562	MMGE	558	MMGE	520	423	471																		
86	HOSP VELEZ PAIZ	541	602	640	728	639	761	658	623	654	670	607	621	679	697	MMGE	769	618	670	616	663	621	667																			
87	JULIO MARTINEZ	708	804	698	760	681	734	750	746	798	810	835	881	813	812	845	870	813	876	824	863	837	843	877	924	105	100	112	96	89	80	83	76	80	80	78	73					
88	PADRE FABRETO																																									
89	SAN ISIDRO DE L.C. VERDE	329	350			340	381	338	343	344	336	330	343	345	340	MMGE	383	325	335	333	332	325	328																			
90	C. DESCONOCIDO N° 2	89	74	88	63	84	66	83	76	79	68	79	75	81	70	80	95	79	82	78	75	78	74																			
91	UNAN	348	NPA	391	NPA	391	NPA	380	NPA	388	NPA	389	NPA	387	NPA	388	NPA	382	NPA	360	NPA																					

FUENTE DE INFORMACION

SECCION : CONTROL HIDROGEOLOGICO DE FUENTES .

F/S Fuera de Servicio .

O/S Obstruido el Tubo Piezometrico .

M.M.E Medidor en Mal Estado .

N.P.A No posee Punto de Aforo .

* Nivel tomado del pozo de Observacion .

Fuente: ENACAL - Managua

FUENTE DE INFORMACION

RECCION : CONTROL HIDROGEOLOGICO DE FUENTES .

F/S Fuera de Servicio .

O/S Obstruido el Tubo Piezometrico .

M.M.E Medidor en Mal Estado .

N.P.A No posee Punto de Afaro .

* Nivel tomado del pozo de Observación .

Fuente: ENACAL - Managua

Anexo 7: Niveles estáticos de pozos de observación en pies.

EMPRESA TERRITORIAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS DE MANAGUA															
ENACAL - MANAGUA															
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION															
NIVELES ESTATICOS DE POZOS DE OBSERVACION EN PIES															
PERIODO 1999															
N°	UBICACION	COORDENADAS		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
		NORTE	ESTE												
1	CENTRO AMERICA N°1	1.338,92	581,28	327,30	328,25	328,50	326,50	325,58	325,50	325,16	311,56	308,75	308,20	307,58	
2	PANCASAN N°2	1.339,55	580,59	319,92	320,00	320,16	319,00	318,83	318,92	318,42	318,16	317,75	316,08	314,04	
3	PANCASAN N°3	1.339,80	580,50	288,41	288,33	288,42	287,58	287,33	287,00	286,75	286,75	286,16	284,41	282,41	
4	VILLA VENEZUELA	1.340,60	585,40	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	
5	LS1(FINCA SAN CARLOS INETER)	1.344,00	573,55												
6	EDUARDO CONTRERAS N°2	1.342,65	571,80	285,30	285,50	285,50	282,24	284,08	283,92	283,50	282,75	282,25	282,32	281,58	
7	KM 8 CARRETERA MASAYA	1.337,38	582,40	395,75	395,92	395,83	396,00	395,92	395,83	395,62	395,37	395,00	394,96	395,00	
8	POZO PPA-MSB(INETER)	1.344,11	574,88	27,83	28,25	28,66	28,60	28,41	28,25	27,42	27,46	26,83	25,66	24,75	
9	NEJAPA (PPA-M1)			389,58	389,68	389,83	384,50	388,50	388,00	387,50	386,58	386,20	386,00	384,79	
10	NEJAPA (PPA-M2)			344,58	344,75	344,92	341,16	343,96	343,33	347,33	342,30	341,92	341,75	340,70	
11	TICUANTEPE N°2	1.331,45	586,95	371,92	371,83	372,08	372,08	372,25	372,00	372,25	371,83	372,00	372,04	334,79	
12	JICA N°2 (VERACRUZ)	1.336,12	591,70	141,08	141,16	141,50	141,66	141,92	142,33	142,08	142,25	142,33	142,30	141,75	
13	EL ESTADIO			86,62	86,83	86,92	86,75	86,00	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	
14	CIUDAD SANDINO N° 5			189,33	189,83	190,25	187,66	187,33	187,75	187,92	186,92	186,66	186,41	185,96	
15	REPARTO ESPAÑA			136,92	137,66	138,08	135,50	135,83	136,33	136,00	135,92	135,58	135,41	134,16	
16	CARLOS FONSECA A. N° 12			66,08	66,42	66,42	66,75	66,42	66,83	66,83	66,92	67,08	66,37	66,87	
17	CARLOS FONSECA A. N° 2			66,16	66,25	66,75	65,66	65,50	67,42		66,83	67,16	65,00	66,75	
18	SANTA MATILDE N°1-POZO VIEJO=			502,92	502,83	502,25	502,25	502,16	502,33		502,58	502,66	503,08		
19	SANTA MATILDE N°2-POZO NUEVO=			502,00	501,92	502,00	502,42	503,33	506,00		505,92	505,92	506,04		
20	LA REFINERIA														
21	COL. CENTRO AMERICA N°. 2			OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.	OBST.		
22	LOS LARIOS								587,33		587,16	587,25	587,58		

FUENTE DE INFORMACION

SECCION : CONTROL HIDROGEOLOGICO DE FUENTES .

FSFuera de Servicio .

OBSObstruido el Tubo Piezometrico .

M.M.EMedidor en Mal Estado .

N.P.ANo posee Punto de Aforo .

*Nivel tomado del pozo de Observación .

Fuente: ENACAL - Managua

FUENTE DE INFORMACION

SECCION : CONTROL HIDROGEOLOGICO DE FUENTES .

FS

Fuera de Servicio .

OBS

Obstruido el Tubo Piezometrico .

M.M.E

Medidor en Mal Estado .

N.P.A

No posee Punto de Aforo .

*

Nivel tomado del pozo de Observación .

Fuente: ENACAL - Managua

Anexo 8: Cuadro comparativo de niveles de agua subterránea pozos propiedad de Enacal.

EMPRESA TERRITORIAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS DE MANAGUA
ENACAL - MANAGUA
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION
CUADRO COMPARATIVO DE NIVELES DE AGUA SUBTERRANEA
POZOS PROPIEDAD DE ENACAL
REGION III, 1999

N°	UBICACION ZONA BAJA	L.C (PIES)	SUMERO (PIES)	EXT SUP REG DESDE HASTA	NIVELES ESTATICOS (PIES)												NIVELES DINAMICOS (PIES)											
					ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	LAS BRISAS	130	7	165 185								74.25					129.50	130.42	129.89	129.58	131.83	131.16	130.79	126.58	126.00	126.08	123.41	123.00
2	MONS LEZCANO	250	61	210 290													190.76	191.16	190.16	189.71	195.58	189.08	189.33	187.25	189.33	188.58	186.50	189.33
4	SAN ANTONIO	190	69	140 290													107.75	126.16	115.92	115.70	116.75	118.75	124.33	118.92	121.50	121.83	123.25	121.25
5	OLOF PALME	160		130 160													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
6	MERCADO ORIENTAL	230	103	100 190													119.75	126.33	120.04	119.32	118.58	116.00	124.33	117.83	124.50	121.16	125.83	127.00
7	COL TENDERI	250	52	160 190										95.83			172.33	172.83	174.75	174.50	175.83	200.42	184.92	189.16	184.41	183.33		198.16
8	BELLO HORIZONTE	250	109	170 300													144.33	140.76	144.50	144.06	141.25	142.33	144.33	141.16	140.83	141.41	140.16	141.00
9	RAFAELA HERRERA	250	44	300 340													190.50	192.39	188.06	193.50	190.16	189.16	191.04	192.92	191.00	189.58	190.45	205.66
10	VILLA FRATERNIDAD	300	55	290 410	246.16	246.00	245.83	245.76										230.83	238.25	237.16	238.16	231.33	231.96	241.83	245.41			
11	MARTIRES DE AYAPAL	300		180 240													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
12	SAN CRISTOBAL No 1	260		200 210													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
13	SAN CRISTOBAL No 3	340		320 340													340.66	330.76	333.16	332.58	335.66	337.42	340.66	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
14	C.F.A. No 9	200															OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
16	C.F.A. No 1	170		157 355	56.50	56.76	56.83	56.42	57.25	57.83	58.00	52.33	57.25	56.08	56.58		172.16	177.17	173.42	172.6	172.75	172.16	180.00	185.04	108.08	116.00	132.25	
17	C.F.A. No 2	170		110 130	66.68									67.16														
18	C.F.A. No 3	170		138 158													151.66	149.00	152.25	156.0	154.00	153.00	149.08	155.83	153.08	116.92	165.92	
19	C.F.A. No 4	170		125 160													137.79	136.50	137.25	140.6	141.25	140.00	135.08	136.58	142.25	137.41	142.66	
20	C.F.A. No 5	170		110 130	59.00	59.50	59.66										126.92	127.25	128.08	127.8	125.66	118.08	OBST	118.08	117.16	123.83	OBST	
21	C.F.A. No 6	167		110 130	55.50	56.20	56.25	56.83	57.16	57.25	56.83	57.00	57.08	56.08	56.83		108.33	111.08	110.33	113.6	112.08	111.83	108.33	107.92	109.66	104.79	110.25	
22	C.F.A. No 7	170		123 171	55.16	55.75	55.83	56.33	57.00	56.92	56.42	56.75	56.66	55.83	56.66		150.50	149.58	149.66	150.2	149.16	150.42	153.66	157.00	156.16	154.37	160.83	
23	C.F.A. No 8	160		122 132	39.75	43.25	42.16	43.66	43.83	44.16	43.92	44.33	44.13	43.75	43.92		169.92	169.83	170.75	173.11	171.66	169.92	170.25	175.66	174.83	174.33	180.75	
25	C.F.A. No 14	150		190 200	40.00	40.50	40.83	41.08	41.33	41.66	41.50	41.66	41.41	40.96	41.25		162.66	162.84	163.16	170.12	166.16	167.75	159.66	161.29	156.00	159.00	175.50	
26	C.F.A. No 15	150		155 160													149.83	156.58	152.42	150.67	154.75	156.92	142.33	146.41	145.62	138.41	149.92	
27	C.F.A. No 16	200		218 237													129.16	131.58	125.92	129.75	127.33	125.54	128.25	127.20	128.83	127.96	133.41	
28	C.F.A. No 17	210		186 206													148.83	149.33	145.13	151.68	143.42	141.87	OBST	140.79	OBST	OBST	OBST	
29	C.F.A. No 18	190		134 144													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST

FUENTE DE INFORMACION

SECCION : CONTROL HIDROGEOLOGICO DE FUENTES .

FS Fuera de Servicio .

OBS Obstruido el Tubo Piezometrico .

M.M.I Medidor en Mal Estado .

N.P.A No posee Punto de Aforo .

* Nivel tomado del pozo de Observación .

Fuente: ENACAL - Managua

Anexo 9: Cuadro comparativo de niveles de agua subterránea pozos propiedad de Enacal.

EMPRESA TERRITORIAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS DE MANAGUA
ENACAL - MANAGUA
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION
CUADRO COMPARATIVO DE NIVELES DE AGUA SUBTERRANEA
POZOS PROPIEDAD DE ENACAL
REGION III, 1999

N°	UBICACION	LC (PIES)	SUMER (PIES)	EXT SUP. 1° TR T DESDE HASTA	NIVELES ESTATICOS (PIES)												NIVELES DINAMICOS (PIES)												
					ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENERO	FEBRER	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	
31	E. CONTRERAS No 3	340		370 370							305,20	304,25	303,16	302,83	302,50		295,84	308,00	312,00	300,00	297,25	296,08		257,33	257,33	251,92	252,75	250,25	255,33
32	CIUDAD SANDINO No 1	300	35	245 266													223,75	228,25	230,16	236,00	238,25	240,08	257,33	257,33	251,92	252,75	250,25	198,00	198,83
33	CIUDAD SANDINO No 2	300	101	264 279													205,67	205,08	205,41	201,50	203,66	OBST	214,16	205,50	200,16	203,25	198,00	198,83	
34	CIUDAD SANDINO No 3	300		264 279													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
35	C. SANDINO No 4	240		310 330							155,42						OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
36	JICA N° 5	370		377 497													352,00		352,00	352,00	352,16	351,92	351,25	351,75	350,87	350,82	350,08		
37	RENE CISNEROS	400	83	340 540													332,92	331,92	328,58	327,66	329,00	329,16	330,37	331,00	319,41	319,41	317,83	317,83	316,56
38	COLONIA NICARAO	480	29	310 340													375,66	379,09	391,82	402,08	400,58	409,25	411,75	401,58	408,25	416,50	419,08	451,20	
39	SABANA GRANDE No 1	240		438 458													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
40	SABANA GRANDE No 2	260		230 250													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
41	SABANA GRANDE No 3	260		280 290							167,00	166,08					OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
42	SABANA GRANDE No 4	160		110 170													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
43	SABANA GRANDE No 5	120		90 130													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
44	VILLA AUSTRIA	440		358 430												62,41	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
45	VILLA LIBERTAD	400	17	324 336													424,79	424,59		418,83	422,16	424,08	427,66	425,25	427,37	428,00	427,92		
47	SHELL METROCENTRO	270		160 220													368,16	379,75	359,08	370,00	372,16	375,16	400,25	392,41	385,92	379,16	389,66	382,92	
48	LOS GAUCHOS	230		230 250													202,92	204,09	192,57	206,66	203,72	206,00	205,41	201,66	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
49	PARQUE LAS MADRES	300		250 290													OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST	OBST
50	INE CENTRAL	315		265 325													213,17	212,59	211,20	212,41	210,18	211,16	212,87	206,92	209,41	209,41	210,50		
51	LA MASCOTA	300	30	270 290						217,75	217,16	216,00	215,16		217,50		261,59	262,09	261,66	262,33	264,50	262,83	277,41	275,85	277,00	263,50	258,00		
52	PANCASAN No 4	300		270 290													268,59	269,92	268,16	271,00					268,00	270,30	270,12	270,41	
53	PANCASAN No 5	400		380 400													304,50	303,42	301,16	297,58	302,00	298,83	302,66	300,45	300,83	F/S	F/S		
54	PLAZA EL SOL	260		273 292													397,75	404,09	408,00	410,00	408,66	415,83	403,08		410,66	417,58	417,83		
55	LAUREANO MAIRENA	360	120														221,75	OBST	OBST	225,83	222,02	224,66	222,00	222,16	218,00	220,75	221,16		
56	14 DE SEPTIEMBRE	390		440 488													241,50	241,84	241,08	243,92	241,75	242,50			239,08	240,16	239,54		
																	396,34	399,26	400,33	401,25	401,25	402,58	404,25	396,16	417,66	417,37	OBST		

FUENTE DE INFORMACION

SECCION : CONTROL HIDROGEOLOGICO DE FUENTES .

FS Fuera de Servicio .
OBS Obstruido el Tubo Piezometrico .
M.M.E Medidor en Mal Estado .
N.P.A No posee Punto de Aforo .
* Nivel tomado del pozo de Observación .

Fuente: ENACAL - Managua

Fuente: ENACAL - Managua

Anexo 10: Área construida en la Cuenca Central del Acuífero de Managua.

